This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
1080.
40.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE

ANNÉE 1898.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1898.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1898

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

ALLOCUTION

PRONONCÉE DANS LA SÉANCE DU 21 JANVIER 1898

PAR M. H. BECQUEREL

Président sortant de la Société française de Physique.

MESSIEURS,

Au moment de quitter la présidence à laquelle m'avaient appelé vos bienveillants suffrages, je dois, à l'exemple de mes prédécesseurs, jeter avec vous un coup d'œil rapide sur nos travaux, pendant l'année qui vient de s'écouler.

J'ai eu la pénible mission de vous annoncer, une à une, à nos diverses séances, les pertes cruelles que la Société de Physique a faites cette année. Dix de nos collègues nous ont été enlevés; j'adresse ici, à leur mémoire, l'expression émue de nos regrets.

J'ai surtout à vous parler de l'Œuvre scientifique de la Société de Physique, œuvre qui est sa raison d'être. L'intérêt de ses séances et de son *Bulletin* attire et retient ses adhérents; l'exposé des recherches nouvelles et les discussions courtoises de nos séances lui assignent un rôle utile dans le mouvement scientifique de notre époque. Je dois donc, avant tout, remercier aujourd'hui ceux qui nous font vivre de cette vie intellectuelle.

Vous vous rappelez sans doute les beaux appareils qui nous ont été présentés, et, parmi ceux-ci, l'appareil industriel de M. H. Le Chatelier, construit par M. Pellin, pour la mesure des dilatations

par la méthode optique de Fizeau : l'oscillographe imaginé par M. Abraham et construit par M. Carpentier, ou l'appareil de M. Bose pour l'étude des oscillations hertziennes, appareil habilement reproduit par M. Ducretet.

Vous avez pu apprécier quel degré de précision atteignent les mesures physiques, soit dans les expériences de M. Leduc, soit avec le bel instrument construit par M. Gautier pour les recherches de M. Carvallo, et vous vous souvenez de l'intéressante discussion soulevée à l'occasion des expériences de M. Carvallo et de M. Dongier.

Aujourd'hui que la précision dans les mesures nous permet de rechercher la manifestation de phénomènes qui ont jusqu'ici échappé à la sagacité des physiciens, n'est-il pas juste de citer comme des modèles admirables les méthodes employées au Bureau international des Poids et Mesures sous la savante direction de M. R. Benoît.

Avant de vous parler des conquêtes les plus importantes faites cette année dans la science, je voudrais signaler, comme ayant des droits à notre gratitude, ceux de nos collègues qui, en dehors de travaux personnels dont nous avons suivi les développements avec le plus grand intérêt, ajoutent encore à l'animation de nos séances par les remarques judicieuses qu'ils sont toujours prêts à faire sur les questions les plus diverses, et surtout par les résumés qu'ils nous ont donnés de travaux fondamentaux publiés à l'Étranger.

A côté de notre savant Secrétaire général, qui met tant de dévouement à s'occuper de l'organisation de nos séances et de la direction de notre Société, je citerai en particulier MM. Guillaume, Broca et Raveau. M. Guillaume nous a développé les belles recherches de MM. Nichols et Rubens sur les radiations de très grandes longueurs d'onde; M. Raveau nous a exposé les nouvelles observations de M. Röntgen. Ce sont là d'excellents exemples qu'on ne saurait trop engager à imiter. Combien ne devons-nous pas remercier ceux qui font ainsi profiter de leur érudition, à une époque où la diffusion des études scientifiques rend les recherches bibliographiques si difficiles. Si les comptes rendus des travaux étrangers prenaient une place plus importante dans nos séances, la salle de nos réunions deviendrait trop petite pour contenir les auditeurs avides de les entendre.

Parmi les collègues qui ont droit à notre reconnaissance, je me reprocherais de ne pas citer M. Dufet, qui vient de consacrer dix années à composer un admirable recueil des données numériques physiques, où il a mis toute la conscience et toute la compétence que

vous lui connaissez. Ce recueil, publié aux frais de la Société, sera un des ouvrages les plus précieux que puisse consulter un physicien.

Au nombre des progrès accomplis cette année, je vous rappellerai les résultats du beau travail de M. Amagat, qui, par une méthode des plus ingénieuses, fournit une vérification d'ensemble de la loi des états correspondants ; cette importante question nous a valu encore un excellent travail de M. Darzens.

La brillante découverte des rayons X, que M. Röntgen a dégagée des recherches antérieures, et en particulier de celles de M. Lenard, a occupé, cette année encore, l'activité de plusieurs de nos collègues. M. L. Benoist, l'un des auteurs de la découverte de la décharge des corps électrisés par ces rayons, nous a donné la continuation de ses études ; M. Jean Perrin nous a exposé la suite de son beau travail ; puis, voici qu'un expérimentateur des plus habiles est venu nous apporter une nouvelle observation, j'allais dire une nouvelle découverte. Après nous avoir mis en garde contre les diverses illusions d'optique que l'on rencontre dans les photographies d'ombres qui constituent les clichés obtenus par les rayons X, M. Sagnac s'est attaché à l'étude des conditions d'émission de ce singulier rayonnement. M. Röntgen avait reconnu que les gaz traversés par des rayons X émettent des rayons X. M. Sagnac nous montre que tout corps frappé par les rayons X émet des rayons X, mais que ces nouveaux rayons ne traversent plus les mêmes écrans que les rayons incidents ; ils ne sont plus de même nature. Si les rayons X avaient une couleur, les rayons diffusés auraient une couleur différente ; ces rayons secondaires donnent naissance eux-mêmes à des rayons tertiaires, et là sans doute est une des causes des complications que présente l'étude des phénomènes qu'ils provoquent.

Enfin je ne saurais terminer sans vous parler de la belle découverte faite à la fin de l'année dernière par le Dr Zeeman, guidé par une théorie de M. Lorenz. Il faut peut-être remonter jusqu'à l'époque où Faraday découvrit la polarisation rotatoire magnétique, pour rencontrer en électro-optique un fait aussi important. Le phénomène de Faraday consiste, vous le savez, en une modification de la vitesse de propagation, dans un champ magnétique, de vibrations lumineuses dont la source est soustraite à l'action du champ. Le phénomène prévu par M. Lorenz et reconnu par M. Zeeman est, au contraire, une modification de la période, lorsque la source est placée dans le champ magnétique. Notre éminent collègue, M. Cornu, en nous

exposant cette découverte, nous a indiqué les perfectionnements qu'il avait apportés à la réalisation de l'expérience.

Je m'arrête, en m'excusant d'avoir été si loin dans cette énumération et de n'avoir pu cependant analyser un grand nombre de communications pleines d'intérêt, celles de MM. Villard, Foveau de Courmelles, Perot et Fabry, Gréhant, Chabaud, Jobin, G. Weiss, Charpy, Guébhard, Camichel, Marage, Ponsot et bien d'autres.

Je ne puis cependant quitter ce fauteuil sans vous remercier de l'honneur que vous avez bien voulu me faire en me désignant pour présider vos séances pendant une année. Je prie le très distingué directeur du Bureau international des Poids et Mesures, M. René Benoît, de venir me remplacer.

Sur l'isolement des appareils contre les trépidations du sol ;

Par M. André Broca [1].

Tous ceux qui ont essayé d'isoler un galvanomètre contre les trépidations du sol ont observé que l'emploi de cales en caoutchouc était absolument nuisible. J'ai observé pour ma part, avec un équipage de Thomson ordinaire à aiguilles horizontales qu'une trépidation déterminée, qui donnait une perturbation de 1 millimètre à 2 millimètres en temps ordinaire, donnait, l'appareil étant isolé sur caoutchouc, 1 centimètre ou 2 centimètres, c'est-à-dire environ dix fois plus que dans le cas ordinaire.

Ceci semble, au premier abord, contraire à l'observation quotidienne. On sait, en effet, que l'isolement sur caoutchouc des massifs qui portent des machines empêche leurs trépidations de se transmettre. Cette propriété est très fréquemment appliquée pour la petite industrie dans les villes. Il semble donc bien que le caoutchouc transmet mal les vibrations qui l'ébranlent, et qu'il devrait, par conséquent produire un bon effet sur les appareils qu'il supporte.

J'ai alors cherché à étudier systématiquement le phénomène. En plaçant un bain de mercure convenable au point à étudier, j'ai vu que, lorsque le bain était placé directement sur la console fixée au mur, l'amplitude des oscillations était plus grande que quand il était

---

[1] Séance du 7 janvier 1898.

isolé, mais que dans ce cas la longueur de l'onde mesurée sur le même bain était plus longue que sur la console non isolée sur caoutchouc.

J'ai employé pour ces expériences de lourds massifs et d'excellentes cales en caoutchouc, gracieusement mises à ma disposition par M. Anthoni, qui les fait pour isoler les moteurs. J'ai même pu, grâce à son concours, opérer sur les presses du *Journal des Débats*, isolées par ses cales, et qui, avec leur massif, pèsent plusieurs tonnes. Dans ce cas, les oscillations transmises étaient très affaiblies, mais de très grande longueur d'onde.

Ceci suffit à expliquer les mauvais effets produits par les caoutchoucs pour les appareils présentant un équipage mobile. Celui-ci forme, en effet, un pendule ayant une période d'une fraction appréciable de seconde. Ce sont les oscillations pendulaires prises par l'équipage, quand son point de suspension est soumis à des trépidations, qui causent les perturbations nuisibles. Elles sont produites par la synchronisation des oscillations propres de l'équipage et des oscillations excitatrices. L'amplitude des oscillations résultantes est donc possible à prévoir, d'après la théorie connue de la synchronisa. tion des oscillants. La synchronisation se produira d'autant mieux que la période propre du système oscillant et celle du mouvement excitateur seront plus voisines. On comprend donc la possibilité, pour les vibrations transformées, comme nous l'avons vu, par le caoutchouc, d'avoir un effet plus nuisible sur un équipage suspendu que les vibrations directes.

Il faut donc, dans ce cas, avoir recours au dispositif de M. Julius ou de M. Hamy, où les oscillations très allongées et transmises à un corps oscillant très pesant sont amorties par des ailettes dans l'huile.

Mais, si la théorie précédente est exacte, les effets des cales simples de caoutchouc doivent être excellents quand les appareils ne contiennent que des pièces rigides, c'est-à-dire susceptibles de vibrer avec des périodes propres très courtes. C'est ce que j'ai vérifié. On sait combien les trépidations du sol sont gênantes pour les pointés effectués avec des instruments d'optique à grande distance focale. Avec une lunette posée sur une table ordinaire, celle-ci portant sur un parquet, il arrive fréquemment, dans Paris, qu'on passe plusieurs heures sans pouvoir faire un pointé. Ce qui est vrai pour les lunettes est vrai *a fortiori* pour les observations avec les

réseaux concaves de Rowland. On peut en effet les considérer, au point de vue optique, comme des objectifs de 3 mètres de distance focale. Ayant monté un de ces réseaux sur une table pesante, dans un moment où des démolitions voisines produisaient des trépidations constantes et considérables, toute observation était impossible. J'ai alors placé sous les pieds de la table quatre cales en caoutchouc, et les observations sont devenues très aisées, les pointés se faisant, à l'oculaire micrométrique, avec toute la précision désirable.

En somme, il résulte de tout ceci que les cales en caoutchouc doivent être proscrites pour les supports d'appareils oscillants; mais que, pour les observations optiques, elles peuvent être fort utiles. Dans les laboratoires soumis aux trépidations, il est très utile de placer le blanc d'optique sur une lourde table ainsi isolée. Les amortisseurs ne sont pas indispensables.

Sur un nouvel interrupteur pour les bobines d'induction;

Par M. V. Crémieu[1].

Par suite du fonctionnement des interrupteurs usités dans les bobines de Ruhmkorff, les forces électromotrices induites, de sens inverse, ne sont pas égales en valeur absolue; on peut les représenter par la courbe (*fig.* 1), dans laquelle *er* désigne la force élec-

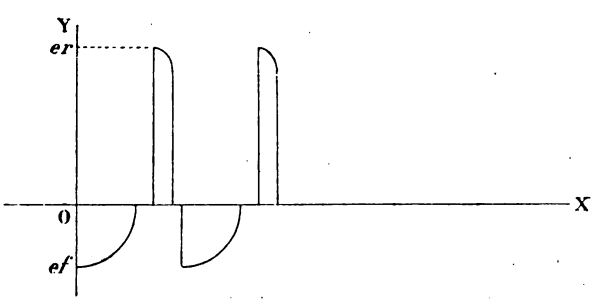

Fig. 1.

tromotrice induite à la rupture du circuit primaire, *ef* celle qui est induite à la fermeture. Cette différence, qui est considérable, pré-

[1] Séance du 4 février 1898.

sente de nombreux inconvénients pour les usages des bobines d'induction.

En envoyant dans l'induit un courant alternatif, on peut, pour de très faibles voltages, obvier à cet inconvénient ; mais ce moyen ne peut plus servir lorsqu'on veut obtenir des étincelles de plusieurs centimètres de longueur.

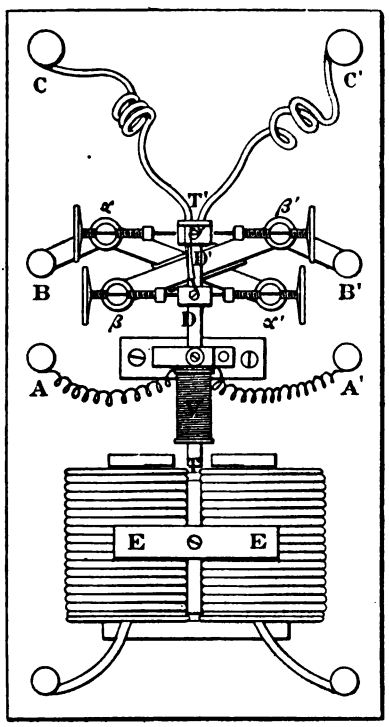

Fig. 2.

J'ai résolu la question au moyen du petit appareil décrit ci-après :

Un électro-aimant EE′ est excité par un courant alternatif (*fig.* 2). Entre ses deux pôles peut osciller l'extrémité d'une tige TT′ mobile en O autour d'un axe perpendiculaire au plan de la figure. La partie OT est en fer doux, la partie OT′ en ébonite ou toute autre substance isolante. Sur la partie OT se trouve enroulée une petite bobine V parcourue par un courant continu. Il en résulte en T un pôle magnétique déterminé. Quand le courant alternatif

parcourt EE′, la tige T prend, par suite, un mouvement oscillatoire dont la période est égale à celle du courant alternatif. Sur la partie OT′ de la tige oscillante, on a fixé deux lames de platine DD′ en relation, à l'aide de deux fils flexibles, avec les bornes CC′.

Pendant le mouvement, les deux lames DD′ viennent successivement au contact des bornes $\alpha\beta$, puis $\alpha'\beta'$; celles-ci sont reliées deux à deux avec les bornes BB′ d'arrivée du courant inducteur ; la disposition de l'appareil montre de suite que si, par exemple, le pôle + du courant est en B, le pôle — en B′, le courant qui circule entre C et C′, par suite des fermetures successives dues au mouvement de la tige, ira alternativement de C en C′ et de C′ en C ; le sens du courant entre ces deux bornes se trouvera inversé entre deux ruptures successives. On voit, par suite, que les forces

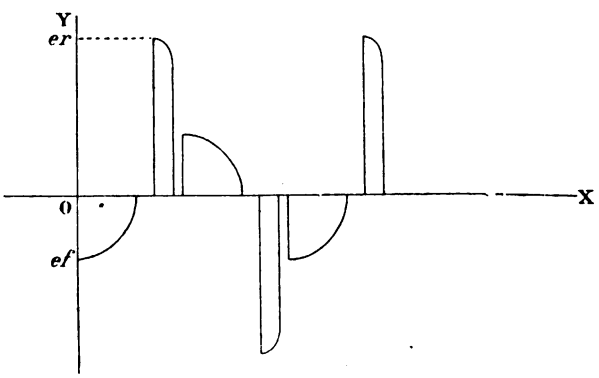

Fig. 3.

électromotrices induites, de sens inverses (*fig.* 3), vont être, à chaque instant, la somme de deux quantités toujours les mêmes, et de même signe. Elles seront donc égales en valeur absolue.

L'appareil marche très bien. Pour un courant inducteur intense, on plongera les contacts $\alpha\alpha'$, $\beta\beta'$ et la partie OT′ de la tige dans un liquide approprié.

Le seul inconvénient, d'ailleurs facile à prévoir, est une perte d'énergie assez grande ; il faut, pour obtenir une même longueur d'étincelles, envoyer dans cet interrupteur un courant de force électromotrice double de celle qui est nécessaire avec un foucault. On diminue cette perte d'énergie en réglant les contacts, disposés, comme il est dit plus loin, de façon à augmenter la durée d'aimantation.

L'appareil est en outre réversible, c'est-à-dire que, si l'on relie les bornes CC′ avec les deux pôles du courant alternatif dont une dérivation excite l'aimant EE′, on recueille entre les bornes BB′ un

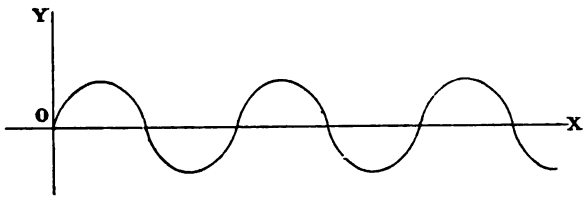

Fig. 4.

courant alternatif redressé. Si le courant arrivant en CC′ est représenté par la courbe (*fig.* 4), celui recueilli entre BB′ sera représenté par la courbe (*fig.* 5).

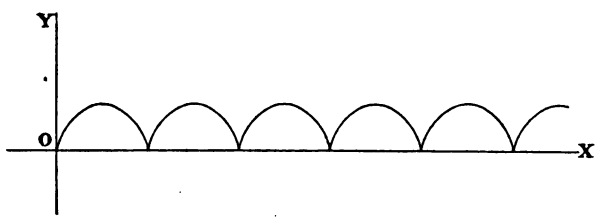

Fig. 5.

Mais il faut éviter que les ruptures successives se produisent au moment où la force électromotrice périodique a sa valeur maximum, ou même une fraction notable de cette valeur.

Un dispositif très simple permet de produire les ruptures au moment où cette force électromotrice est nulle : les vis des bornes de contact αα′, ββ′ sont percées, suivant leur axe, d'une cavité cylindrique (*fig.* 6). Au fond de cette cavité on engage un ressort à boudin R, très doux, et une pièce en platine TP cylindrique, ayant la forme d'un piston dont la tige T glisserait au centre d'un chapeau taraudé en laiton C, qui vient se visser à l'extrémité de la vis.

La tige TT′ étant au repos (*fig.* 2), on règle les quatre vis de façon qu'elles viennent toucher sans pression les contacts DD′, l'extrémité T se trouvant à égale distance des deux pôles de l'aimant EE′.

Dès que la tige TT′ oscille, les contacts DD′ se portent à droite

et à gauche, repoussant alternativement les pistons $\alpha\beta$ en quittant $\alpha'\beta'$, puis repoussant $\alpha'\beta'$ en quittant $\alpha\beta$.

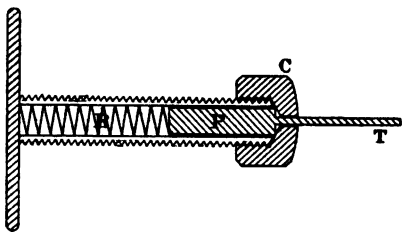

Fig. 6.

Si l'on remarque d'ailleurs que la tige TT′ passe par sa position d'accélération nulle, juste au moment où la force électromotrice du courant alternatif qui excite EE′ est nulle aussi, et que les ruptures se font à cet instant précis, on voit qu'il n'y aura pas d'étincelle de rupture en $\alpha\alpha'\beta\beta'$.

En pratique, il se produit des étincelles extrêmement faibles. La perte d'énergie ne dépasse pas le quart de l'énergie primitive.

Nouvelle méthode pour la mesure des champs magnétiques;

Par M. E. Bouty [1].

1. — Le phénomène auquel j'ai recours est l'induction réciproque de l'action électromagnétique employée par M. Lippmann dans son galvanomètre à mercure. Un liquide conducteur, qui peut être de l'eau de rivière, s'écoule normalement aux lignes de force du champ à mesurer. On détermine à l'aide de l'électromètre capillaire la force électromotrice induite entre la face supérieure et la face inférieure de la veine. Connaissant le débit, on en déduira l'intensité du champ.

Supposons, pour simplifier, la vitesse d'écoulement uniforme sur toute la section d'une veine rectangulaire d'épaisseur e dans le sens des lignes de force, de hauteur l dans la direction normale, à la fois,

[1] Séance du 18 février 1898.

aux lignes de force et à la vitesse d'écoulement. On peut assimiler la veine à un élément mobile de conducteur de longueur l. La force électromotrice induite a pour valeur :

$$E = Hvl, \tag{1}$$

H désignant l'intensité du champ.

Le débit est :

$$D = evl. \tag{2}$$

On tire de là :

$$H = \frac{Ee}{D}. \tag{3}$$

Telle est la formule très simple que l'on devra appliquer.

2. — Cette même formule subsiste encore si la vitesse v varie avec deux coordonnées x et y, respectivement parallèles à l'épaisseur e et à la hauteur l, à la seule condition que les électrodes rectangulaires, de longueurs égales ou inégales, occupent toute la largeur e de la veine; il n'est pas nécessaire qu'elles soient placées en face l'une de l'autre.

Pour démontrer cette proposition, nous nous appuierons sur la réciprocité de l'induction et du travail électromagnétique. Considérons un courant auxiliaire d'intensité totale égale à l'unité, traversant la veine d'une électrode à l'autre. La force électromotrice à calculer est égale au travail électromagnétique exécuté par seconde sur le courant en vertu du mouvement de la veine.

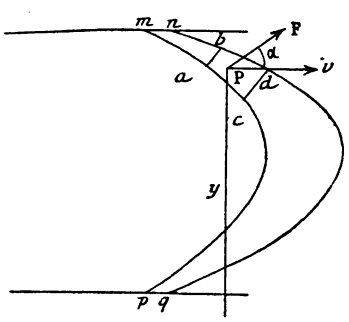

FIG. 1.

Considérons un tube de flux élémentaire $mnpq$ (*fig.* 1) allant d'une électrode à l'autre. Soit I l'intensité du courant auxiliaire au point P.

Détachons autour de ce point un élément *abcd* du tube, de section dS, de longueur ds. La force électromagnétique F, normale à l'axe du tube, est $HIdSds$ et fait un angle α avec la direction de la vitesse v. L'élément correspondant de travail électromagnétique par seconde est $HIdSdsv \cos\alpha$; ou, en désignant par y l'ordonnée du point P, $HIdSdsv \cos\alpha$. Pour le tube entier, IdS est une constante égale à $I_0 dS_0$: I_0 désigne l'intensité du courant, dS_0 la section du tube au voisinage immédiat de l'électrode. Le travail par seconde relatif au tube entier est donc :

$$d^2E = HI_0 dS_0 \int_0^l v dy.$$

Remarquons maintenant que, d'après les données du problème, les lignes de flux sont des courbes planes parallèles aux faces terminales de la veine. Considérons une tranche d'épaisseur dx et de longueur indéfinie dans le sens de l'écoulement. Soit a la longueur de l'une des électrodes. Le travail par seconde relatif à la tranche entière est la somme des travaux relatifs aux divers tubes contenus dans cette tranche :

$$dE = H \int_0^a I_0 dS_0 \int_0^l v dy.$$

Or, la vitesse v n'étant, par hypothèse, fonction que de x et de y, l'intégrale $\int_0^l v dy$ est constante pour tous les tubes considérés et peut être mise en facteur. D'autre part, la distribution du courant auxiliaire est la même dans toutes les tranches ; $\int_0^a I_0 dS_0$ est donc la fraction $\frac{dx}{e}$ de l'intensité totale, supposée égale à 1. Ainsi :

$$dE = \frac{Hdx}{e} \int_0^l v dx.$$

Pour avoir E, il suffit maintenant d'intégrer par rapport à x de zéro à e :

$$E = \frac{H}{e} \int_0^e \int_0^l v dy dx. \tag{4}$$

Telle est l'expression de la force électromotrice induite.

D'ailleurs le débit D est, par définition :

$$D = \int_0^e \int_0^l v dy dx. \tag{5}$$

Donc en définitive :

$$H = \frac{Ee}{D}. \tag{3}$$

Nous retrouvons la formule (3) dans des conditions assez générales pour pouvoir en faire usage avec des veines rectangulaires quelconques.

3. — Il reste à savoir quelle relation il y a entre les forces électromotrices induites E et les différences de potentiel V que l'on mesure à l'aide de l'électromètre.

S'il n'y a pas de dérivation extérieure entre les électrodes et qu'on puisse faire abstraction des courants de Foucault, on a évidemment :

$$V = E. \tag{6}$$

On calculerait aisément l'effet d'une dérivation extérieure connue; mais il est plus difficile de tenir compte des courants de Foucault.

Considérons d'abord le cas où la vitesse v d'écoulement est uniforme. Par raison de symétrie, les courants de Foucault devraient avoir même direction et même intensité en tous les points de la veine, ce qui exige que cette intensité soit nulle. Alors la face supérieure et la face inférieure de la veine sont des surfaces équipotentielles : la force électromotrice induite en chaque point est équilibrée par une force électrostatique égale et contraire provenant de l'électricité distribuée sur ces faces, et l'on a rigoureusement :

$$V = E. \tag{6}$$

Pratiquement, j'ai employé des veines rectangulaires dans lesquelles les vitesses v ne varient qu'en vertu du frottement contre les parois. Si les deux dimensions l et e du rectangle *abcd* (*fig.* 2) ne sont pas trop petites, on peut décomposer la veine en deux régions, l'une intérieure *ghki* dans laquelle la vitesse peut être considérée comme constante, l'autre d'épaisseur ε, au voisinage des parois, où la vitesse décroît rapidement jusqu'à zéro.

Si l'on pouvait supprimer cette couche-enveloppe, on aurait rigoureusement V = E. En réalité, avec des électrodes occupant la lar-

geur entière e, on aura toujours $V < E$, mais l'importance relative de la couche perturbatrice diminue toujours quand e augmente ;

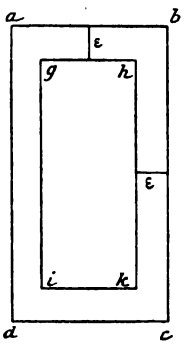

Fig. 2.

l'inégalité se rapprochera asymptotiquement de l'égalité rigoureuse qui ne sera réalisée qu'à la limite.

Pour transformer en égalité l'inégalité

$$H = \frac{Ee}{D} > \frac{Ve}{D},$$

et réaliser la condition d'égalité limite de E et de V, il suffira d'augmenter l'épaisseur e d'une quantité α constante :

$$H = \frac{V(e + \alpha)}{D}. \tag{7}$$

4. — Pour déterminer la forme de la veine, j'ai employé des ajutages ou cuvettes en ébonite de construction assez robuste pour pouvoir résister, sans fuite latérale et sans déformation, à une charge de 20 mètres d'eau au moins. Deux électrodes de cuivre occupant, sur une largeur de 1 centimètre environ, toute la largeur de la cuvette, arasent exactement la face supérieure et la face inférieure de la veine.

D'après les formules établies ci-dessus, la force électromotrice induite est indépendante de la nature du liquide conducteur. J'ai pris d'abord des solutions concentrées ou étendues de sulfate de cuivre, formant avec les électrodes de cuivre un système impolarisable ; mais, dès les premières mesures, on a pu constater que la

valeur mesurée de la force électromotrice correspondant au renversement d'un champ donné se montre rigoureusement indépendante de la concentration du liquide électrolytique; si bien que, sans rien changer à la disposition de l'expérience, j'ai pu substituer au sulfate de cuivre l'eau même des conduites de la ville ; la facilité des mesures est restée la même. La polarisation des électrodes n'introduit aucune perturbation.

Dès lors, j'ai toujours opéré avec de l'eau. En faisant usage d'un réservoir muni d'un trop-plein et que l'on alimente surabondamment, on obtient des vitesses d'écoulement rigoureusement invariables, et le débit d'une cuvette donnée n'est limité que par la hauteur de chute dont on dispose; la sensibilité de la méthode est, comme on le voit par la formule (3), proportionnelle à ce débit.

J'ai fait usage de vitesses moyennes variant de 50 centimètres à 17 mètres et vérifié sur un grand nombre de cuvettes, les unes rectangulaires, les autres quelconques, la proportionnalité rigoureuse de la force électromotrice à la vitesse, prévue par la formule (1).

5. — Si l'on ne veut effectuer que des mesures relatives, on pourra donc attribuer à la cuvette qui sert de support aux électrodes telle forme particulière qu'imposeront les circonstances. Une seule précaution est indispensable, c'est l'*isolement rigoureux des électrodes*. La moindre dérivation, se produisant à l'extérieur de la cuvette, serait nuisible, eu égard à la grande résistance spécifique du liquide qui s'écoule; elle pourrait altérer notablement les mesures.

6. — Pour faire des mesures absolues, il est nécessaire de savoir jusqu'à quel point les conditions théoriques imposées pour l'établissement de la formule (3) sont réalisées dans la pratique. En particulier, *les vitesses en tous les points de la veine doivent être rigoureusement parallèles*, ce qui ne peut avoir lieu qu'à une distance du tube d'amenée suffisante pour qu'il n'y ait plus de remous. Des expériences de comparaison, faites avec des cuvettes à électrodes multiples, ont montré toute l'importance de cette cause d'erreur dans les cuvettes très plates : ainsi, avec une cuvette de 6 centimètres de haut et de $1^{mm},15$ d'épaisseur, les différences de potentiel obtenues, dans un même champ, pour trois couples d'électrodes placées respectivement à 2 centimètres, 5 centimètres et 8 centimètres du tube d'amenée ont été entre elles comme les nombres 0,7, 0,925 et 1; tandis que, pour une autre cuvette de même longueur totale, de 1 centimètre de haut et de $6^{mm},56$ d'épaisseur, munie de quatre couples

d'électrodes, les trois couples les plus éloignés du tube d'amenée ont donné des différences de potentiel égales ; le premier couple seul, une différence de potentiel inférieure de $\frac{1}{20^e}$.

7. — J'ai aussi comparé les différences de potentiel données, dans un même champ, par toute une série de cuvettes rectangulaires de hauteur et d'épaisseur différentes. Les valeurs du champ calculées par la formule (3) ne sont pas rigoureusement identiques. On rétablit l'égalité en substituant à l'épaisseur e mesurée une épaisseur fictive un peu plus grande, $e + \alpha$ (formule 7). Pour toutes les cuvettes d'épaisseur supérieure à 1 millimètre, j'ai trouvé pour α une valeur identique, $\alpha = 0^{mm},13$; mais pour des épaisseurs moindres il faudrait donner à α des valeurs d'autant plus grandes que l'épaisseur e serait elle-même plus petite.

Des causes multiples suffisent à expliquer ce désaccord apparent de la formule (3) et de l'expérience : courants de Foucault déjà invoqués [1], dérivations extérieures, irrégularités d'épaisseur de la cuvette, influence du tube d'amenée ou de la veine libre, etc. Tout ce que l'on peut dire *a priori* de ces diverses causes, c'est que leur effet relatif sera d'autant moindre que la veine sera plus épaisse et par conséquent que les vitesses seront plus près d'être uniformes dans toute son étendue, ce qui est bien conforme à l'observation.

8. — Pour déterminer l'épaisseur fictive qui permettra d'appliquer la formule (3) à une cuvette quelconque, rectangulaire ou non, le procédé que l'on doit recommander de préférence consiste à employer un champ d'intensité connue, tel que celui d'une bobine sans fer doux.

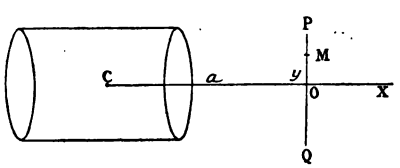

Fig. 3.

Soit PQ (*fig.* 3) la ligne des électrodes de la cuvette disposée perpendiculairement à l'axe COX de la bobine à une distance a de son centre. Au milieu O de PQ, le champ est dirigé suivant OX ; en un point M, à la distance y, très petite, de O, la composante du champ

[1] Voir ci-dessus, p. 17.

parallèle à l'axe est :

$$X = A_0 + A_2 y^2, \tag{8}$$

par unité du courant, à des quantités près de l'ordre de y^4. A_0 et A_2 sont des constantes connues qui dépendent des dimensions de la bobine et de la distance a [1]. Le champ moyen d'où résulte la force électromotrice est :

$$H = \frac{2i}{l} \int_0^{\frac{l}{2}} X dy = i \left(A_0 + A_2 \frac{l^2}{12} \right); \tag{9}$$

cette formule n'est applicable que si l est notablement inférieure à la plus courte distance d'un point quelconque de PQ à la spire de la bobine la plus rapprochée.

Inversement, on pourra appliquer les formules (3) ou (7) à la mesure de l'intensité d'un courant, en faisant usage d'une bobine et d'une cuvette connues, dont l'ensemble constituera un ampèremètre de nouvelle espèce.

9. — Il reste à indiquer la sensibilité pratique de la nouvelle méthode de mesure. Mon électromètre permet, à la limite, de constater l'existence d'une force électromotrice de $\frac{1}{20000}$ de volt et, si l'on fait usage de l'inversion du champ, de $\frac{1}{40000}$ de volt ou, en valeur absolue électromagnétique, de $2{,}5.10^3$ C. G. S.

La plus grande vitesse moyenne que j'ai employée est de 17 mètres, et la cuvette la plus sensible avait 6 centimètres de haut ; d'après la formule (1), on a :

$$H = \frac{E}{vl},$$

et la plus petite valeur du champ magnétique qu'il fût possible de déceler était :

$$H = \frac{2{,}5.10^3}{1700.6} = 0{,}25 \text{ C. G. S.}$$

Il ne semble pas qu'il y ait de difficultés sérieuses à aller encore plus loin.

10. — Pour des applications où la sensibilité de la méthode élec-

---

[1] Voir Mascart, *Leçons sur l'électricité et le magnétisme*, t. II, p. 110.

trométrique paraîtrait exagérée, on pourrait faire usage d'un condensateur de grande capacité que l'on chargerait, à l'aide de la force électromotrice à mesurer, et qu'on déchargerait sur un bon galvanomètre balistique. Avec une capacité *industrielle* de 10 microfarads, la cuvette de 6 centimètres et la vitesse de 17 mètres, on mettrait en évidence des champs de 5. C. G. S.

11. — J'indique ailleurs avec quelque détail (1) les applications que j'ai tentées jusqu'ici : graduation d'un ampèremètre, étude de la courbe de saturation d'un électro-aimant, mesure de la quantité absolue de magnétisme et détermination des pôles d'un aimant.

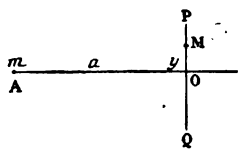

Fig. 4.

Je me bornerai à dire quelques mots de ce dernier problème. Soit un pôle austral, de masse m, placé à la distance a du milieu O de la ligne des pôles PQ d'une cuvette, sur une perpendiculaire à son plan (*fig.* 4). En un point situé à la distance y de l'axe AO, la composante utile du champ est $\frac{m}{a^2+y^2}\frac{a}{\sqrt{a^2+y^2}}$. Le champ moyen utile est donc :

$$H = \frac{2ma}{l}\int_0^{\frac{l}{2}} \frac{dy}{(a^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{m}{a\sqrt{a^2+\frac{l^2}{4}}}.$$

Quand on a fait usage d'un barreau suffisamment long, disposé perpendiculairement et à peu de distance de la cuvette, le deuxième pôle n'intervient que par un terme correctif peu important. Soit L la longueur de l'aimant, x la distance d'un pôle à l'extrémité voisine, b la distance de l'extrémité de l'aimant au centre de la cuvette ; on a pour le champ moyen total, avec une approximation suffisante :

$$H = m\left[\frac{1}{(b+x)\sqrt{(b+x)^2+\frac{l^2}{4}}} - \frac{1}{(L+b-x)^2}\right].$$

(1) *L'Éclairage électrique*, avril 1898.

On fera varier b et l'on déterminera m et x de façon à satisfaire le mieux possible à l'ensemble des observations.

Je crois devoir citer un tableau d'expériences, à cause de la petitesse des champs moyens étudiés; on jugera par cet exemple délicat de la précision moyenne des mesures courantes. Le barreau, pris dans une boîte ordinaire d'aimants, avait 35 centimètres de long, 2 centimètres de large et 8 millimètres d'épaisseur. En faisant $x = 2^{cm},65$, $m = 629$ C. G. S., on trouve :

Distances b	Champ moyen H en unités C. G. S. Observé	Calculé	Différence
$0^{cm},35$	48,4	48,7	+ 0,3
0 ,85	35,6	38,3	+ 2,7
1 ,35	31,3	30,7	— 0,6
1 ,85	24,7	25,2	+ 0,5
2 ,35	22,4	20,8	— 1,6
2 ,85	18,7	17,7	— 1,0
3 ,85	12,9	12,9	0,0
5 ,35	8,34	8,66	+ 0,32
10 ,35	3,37	3,24	— 0,13
15 ,35	1,77	1,59	— 0,18

Quelques propriétés des décharges électriques produites dans un champ magnétique. Assimilation au phénomène de Zeeman;

Par M. André Broca [1].

Depuis la découverte de l'électricité statique, les physiciens ont été d'accord pour considérer la décharge des conducteurs par le vent électrique comme due au mouvement des molécules de gaz électrisées. Ils ont pensé aussi, suivant en cela un enchaînement naturel, que, dans les tubes de Geissler, des phénomènes analogues se produisent par une véritable convection. Lorsqu'il découvrit le phénomène cathodique, Crookes l'expliqua par l'hypothèse de molécules à l'état radiant, chargées électriquement. Cette dernière idée a soulevé une polémique assez vive, en Allemagne surtout, où beaucoup de bons esprits se sont montrés partisans d'une théorie ondulatoire du phénomène cathodique. La déviation magnétique était, dans ces idées, fort difficile à concevoir; elle nécessitait l'existence d'une composante longitudinale, comme l'a montré M. Jaumann.

---

[1] Séance du 18 mars 1898.

La déviation magnétique, au contraire, s'explique d'elle-même lorsqu'on adopte l'idée de Crookes, par cette conception qu'un corps chargé statiquement donne lieu, quand il est mis en mouvement, à la production d'un champ magnétique. Nous ne pouvons entrer ici dans la discussion détaillée des deux théories ; les éléments essentiels s'en trouvent dans des publications de MM. Jaumann et Poincaré aux *Comptes Rendus*, à l'*Éclairage électrique* et dans les *Annales de Wiedemann*.

Dans l'état actuel de la question il est donc très utile de chercher à vérifier les résultats prévus par l'une ou l'autre des deux théories. J'ai alors pensé à chercher si les décharges électriques ne présentaient pas de phénomène analogue à celui que M. Zeeman a observé pour les mouvements vibratoires des sources lumineuses placées dans le champ magnétique, et qu'il a expliquées, d'après les idées de M. Lorentz, par l'ionisation des molécules de la source lumineuse.

L'ionisation n'est d'ailleurs pas, dans ce cas, une simple vue de l'esprit. La théorie électro-magnétique de la lumière exige quelque chose d'analogue. Il faut, en effet, que les molécules matérielles vibrantes qui sont la source lumineuse soient douées de la propriété de produire une perturbation du champ électro-magnétique. Il faut donc qu'elles soient douées de l'une des discontinuités qui caractérisent soit la masse électrique, soit la masse magnétique. La première est à peu près certaine, au moins pour les gaz incandescents. En effet, les gaz de la flamme déchargent les corps électrisés. En passant sur un corps chargé négativement, ils perdent la propriété de décharger les corps chargés négativement, tout en conservant celle de décharger les corps chargés positivement. Quand ils passent sur un corps positif, c'est l'inverse. Cela ressort des expériences de M. Villari et implique que les gaz qui viennent d'être soumis au phénomène de l'émission sont doués de charges électriques.

En s'appuyant sur l'hypothèse à peu près certaine de l'ionisation des gaz incandescents, M. Zeeman a montré que les molécules vibrantes avaient, dans le champ magnétique, trois sortes de trajectoires stables, une rectiligne parallèle aux lignes de force et deux circulaires droite et gauche autour de la ligne de force. Ceci a été vérifié par l'analyse optique des vibrations.

Si l'idée de Crookes sur les rayons cathodiques est exacte, s'ils sont dus à un transport d'ions, nous devons retrouver avec les

rayons cathodiques des phénomènes analogues. Mais comme, lorsque le gaz est à l'état radiant, chacune de ses molécules peut être regardée comme isolée et soustraite à toute réaction élastique, nous devons nous attendre à trouver au phénomène des dimensions finies. Nous devons donc constater, pour une valeur convenable du champ, l'existence simultanée de deux espèces de rayons cathodiques, les uns qui s'enroulent autour du champ, les autres qui se dirigent suivant le champ.

L'expérience courante montre que les rayons cathodiques qui pénètrent dans un champ magnétique s'enroulent autour de celui-ci. M. Poincaré a montré que, dans l'hypothèse de l'ionisation, les rayons cathodiques devaient s'enrouler sur la surface d'un cône de révolution si le champ n'est pas uniforme. Il y a deux ans, M. Birkeland montra qu'une cathode plane émettait, pour un champ magnétique convenable normal à son plan des rayons parallèles au champ qui rendent le gaz lumineux sur tout leur trajet. Il s'agissait de savoir si ces rayons de M. Birkeland étaient la limite des rayons ordinaires dont le cône de révolution se transformait en cylindre, ou bien si l'émission de la cathode était profondément modifiée par la présence du champ magnétique, et s'il n'y avait pas dans certaines conditions une existence simultanée des deux sortes de rayons.

Pour obtenir un champ uniforme et réglable à volonté, j'ai pris un électro-aimant de Faraday, muni de deux larges lames de fer doux comme pôles. L'intensité du courant était réglée au moyen d'un rhéostat de Cance. Le champ maximum, vu le diamètre des ampoules, était de 6 à 8000 C. G. S.

J'ai d'ailleurs vérifié que les phénomènes étaient les mêmes dans ce champ uniforme ou dans le champ varié produit entre deux cônes arrondis, et j'ai alors continué les expériences avec ce dispositif où les tubes sont moins voisins des masses métalliques et moins exposés à être percés.

Des expériences préliminaires faites avec des ampoules de toutes sortes m'ont montré que, dans les champs puissants, les rayons qui s'enroulent autour des lignes de force deviennent invisibles, parce qu'ils ne rencontrent plus de parois.

J'ai alors fait construire par M. Chabaud une ampoule sphérique de 5 centimètres de diamètre, portant une électrode sphérique centrale de 5 millimètres de diamètre, entourée d'un écran diamétral en verre ; c'est cette sphère qui est toujours prise comme cathode.

Deux anodes, situées, l'une dans le plan de l'écran, l'autre dans le plan normal, m'ont montré que la position de l'anode était indifférente pour ces phénomènes.

Les expériences suivantes ont été faites avec l'écran diamétral parallèle aux lignes de force. Les parties fluorescentes sombres, dues aux irrégularités de la cathode, permettent de voir que, dès que le champ est excité, les rayons cathodiques semblent s'enrouler autour des lignes de force, dans le sens du courant excitateur. Pour une certaine valeur du champ, les parois latérales du tube cessent d'être lumineuses, toute l'illumination se reporte sur l'écran diamétral. Puis subitement un jet lumineux intense semble jaillir de la cathode et illuminer l'écran diamétral jusqu'à la paroi, où il produit une petite tache à peu près circulaire. Il a 2 millimètres de large environ, et est plus ou moins excentré par rapport à la cathode, suivant le degré de vide, mais toujours très légèrement. De chaque côté de cette ligne lumineuse s'étend un espace obscur, au-delà duquel on voit la surface illuminée, limite du phénomène cathodique antérieur, qui a la forme dite en *chapeau de gendarme*. L'un de ces *chapeaux de gendarme* est dû à des rayons émanés de la cathode par dessous, l'autre à des rayons émanés de la cathode par dessus. J'ai vérifié ce fait directement au moyen d'une ampoule analogue à la précédente, mais dont l'écran diamétral de verre était partiellement recouvert, sur chaque face, par un écran de platine demi-circulaire. Les deux diamètres limites sont situés l'un au-dessus de l'autre. On voit alors qu'il n'y a qu'un seul côté illuminé pour chaque sens du champ. Fait très curieux, celle de ces deux dernières surfaces lumineuses qui correspond aux rayons émis par la cathode sphérique au-dessus de l'écran, si l'on suppose que son électrode est par dessous, possède une fluorescence jaune; l'autre possède une fluorescence verte.

Quand le champ augmente, les deux chapeaux de gendarme se rapprochent du centre et se raccourcissent. La traînée lumineuse axiale devient moins intense; mais la tache qu'elle produit sur la paroi du tube reste aussi forte. D'ailleurs, le gaz lui-même, grâce à la luminescence violette indiquée par M. Birkeland, permet, quand la pression n'est pas trop faible, de la suivre sous forme d'un cylindre très mince, et les irrégularités de la surface de l'écran montrent la fluorescence partout où il y a une surface inclinée sur les lignes de force. L'excentricité du faisceau parallèle au champ n'existe plus. Enfin, pour une valeur assez grande du champ, les

phénomènes cathodiques disparaissent encore presque complètement.

Quand on incline l'écran sur le champ, on voit l'illumination qui suit la force disparaître de l'écran, et la surface lumineuse, engendrée par les rayons qui tournent autour du champ, se modifier. Le canal central obscur s'efface et, pour la position normale au champ, l'illumination, très faible, est nettement circulaire.

Ceci ne permet de rien préjuger sur la forme même de la trajectoire des rayons spiraux, dans le champ magnétique. En effet, l'écran diamétral les arrête tous aussitôt qu'ils ont accompli une demi-révolution autour de la ligne de force. Cette expérience nous prouve donc seulement que la cathode sphérique émet, outre les rayons qui suivent le champ, un spectre continu de rayons, susceptibles de suivre, dans le champ magnétique, des hélices à pas différents.

Avec un tube à cathode cylindrique de 3 millimètres de diamètre et 2 centimètres de haut, placée parallèlement aux lignes de force, les phénomènes sont aussi de la plus grande netteté. On voit, sur la paroi située dans l'axe de la cathode, une large tache présentant des rayons sombres dus aux irrégularités de la cathode. Dans le champ magnétique on voit la tache se rétrécir en même temps que les rayons sombres se courbent, indiquant la trajectoire en hélice des rayons cathodiques. Puis, pour une certaine valeur du champ, une ligne violette mince, parallèle aux lignes de force, apparaît brusquement et donne une tache fluorescente sur la paroi. Quand le champ est assez intense, les deux ordres de rayons sont visibles dans le gaz, et l'on voit nettement l'espace obscur qui les sépare. Si l'on maintient le champ quelque temps, les rayons parallèles au champ fondent la paroi.

Tous ces phénomènes se coordonnent parfaitement, si nous admettons le fait connu que la fluorescence, due aux rayons cathodiques, est d'autant plus vive que les rayons sont plus normaux à la surface qu'ils frappent. Dans cette hypothèse, nous voyons qu'une cathode placée dans un champ magnétique émet deux ordres de rayons. Les uns sont la limite des rayons ordinaires et s'enroulent autour du champ; nous les appellerons *rayons de première espèce*. Les autres naissent subitement pour une certaine valeur du champ, commencent par s'enrouler autour de la ligne de force, suivant une hélice tracée sur un cylindre très mince et à pas très allongé; nous

les appellerons *rayons de seconde espèce*. Quand le champ augmente, deux hypothèses sont possibles : ou bien, les rayons de seconde espèce, émis par la cathode, restant les mêmes, le pas de ces hélices s'allonge indéfiniment, de manière à avoir pour limite une trajectoire rectiligne du rayon ; ou bien l'émission de la cathode elle-même est modifiée de manière à ne plus émettre comme rayons de seconde espèce que des rayons qui suivent exactement la ligne de force. C'est à cette dernière opinion que je me rangerais le plus volontiers, ne sachant comment comprendre la première hypothèse. Quoi qu'il en soit, ces rayons forment un foyer très étroit et très puissant, susceptible de fondre le verre, et cela même dans un champ magnétique uniforme.

En résumé, il existe deux espèces de rayons cathodiques : ceux de première espèce, qui s'enroulent autour de la ligne de force du champ magnétique, et ceux de seconde espèce qui suivent cette ligne de force.

Tels sont les phénomènes qui se passent dans les tubes où les ions se trouvent à l'état radiant, c'est-à-dire soustraits à toute réaction élastique. Mais, comme dans la décharge électrique par les gaz à toute pression il y a convection, c'est-à-dire rupture des relations élastiques, il fallait chercher s'il n'y avait pas à toute pression des phénomènes analogues. J'ai employé pour cela des ampoules sphériques de 5 à 6 centimètres de diamètre, portant deux électrodes, sphériques elles-mêmes, symétriques par rapport au centre, et à 1 centimètre ou 1,5 de distance l'une de l'autre. Quand le vide est poussé de manière à avoir une ampoule à rayons cathodiques molle, les rayons sont visibles dans le gaz ; on voit des phénomènes identiques aux précédents, et de plus, autour de l'anode, une lame lumineuse violacée normale au champ, qui semble s'échapper du plan diamétral de l'anode normal au champ, et se perdre en s'estompant.

Pour une pression de quelques millimètres, les phénomènes sont plus frappants. MM. Paalzow et Neessen en ont donné une indication sommaire il y a quelque temps, dans des cas où ils étaient d'ailleurs moins nets. Dans les expériences suivantes, les ampoules contenaient toujours de l'air. La lumière cathodique violette s'étale en forme de cylindre ayant pour axe la ligne de force. La lueur ainsi formée s'éteint dans le gaz même sans arriver à la paroi, si le potentiel n'est pas assez élevé.

Autour de l'anode se forme une couche plane normale au champ, de couleur chair. Celle-ci ne s'échappe maintenant que d'un seul côté de l'anode, tourne en sens inverse du courant excitateur du champ, puis s'étale dans le gaz lui-même, à une certaine distance de l'anode, en se redressant et s'épanouissant suivant les lignes de force.

Quand on emploie des potentiels plus élevés, les phénomènes se modifient. Tout d'abord le cylindre lumineux parallèle au champ vient rencontrer la paroi, sans y produire aucun phénomène remarquable ; l'illumination du gaz est rose violacé. Si, à ce moment, l'on interpose une étincelle convenable dans le circuit, ou si l'on introduit deux bouteilles de Leyde formant un dispositif de Lecher, on voit, malgré la haute pression de l'ampoule, un phénomène cathodique se produire au point de la paroi rencontré par le cylindre lumineux. Celui-ci se produit d'ailleurs dans l'ampoule même sans champ magnétique.

Si l'on augmente l'énergie de la décharge, son aspect change. La lueur devient plus intense et tend vers le blanc. En même temps les phénomènes cathodiques disparaissent, qu'on emploie les hautes fréquences ou l'étincelle.

Pour obtenir l'apparence nette que je viens de décrire, il est indispensable d'opérer avec une étincelle dans le circuit, ou en faisant les interruptions très rares, à la main par exemple. Dans le cas contraire, les deux électrodes sont le siège chacune des deux phénomènes, le phénomène décrit ici comme cathodique étant plus faible à l'anode et inversement.

J'ai ensuite étudié ce qui se passe à la pression atmosphérique. Dans ce cas, les résultats sont moins nets et moins faciles à interpréter. M. Cornu a montré récemment que les effluves électriques se dirigeaient normalement aux lignes de force dans le champ magnétique. J'ai étudié ce qui s'y passe pour l'arc électrique obtenu au moyen d'une puissante bobine d'induction, entre deux fils métalliques. Deux formes d'arc peuvent être obtenues : l'une comporte encore une étincelle entourée d'une flamme, l'autre ne comporte plus que la flamme.

Étudions ce qui se passe pour l'arc parallèle aux lignes de force.

L'étincelle n'est aucunement modifiée. La flamme se contourne en une surface hélicoïdale, limitée par une double spirale conique ayant un sommet sur chaque électrode. D'ailleurs, pour les arcs longs, il arrive parfois que cette nappe contournée n'ait pas de sommet bien net.

Quand on rapproche davantage les électrodes, on voit se produire à un instant une modification. La surface hélicoïdale prend un allongement relatif considérable dans le sens du champ aux deux électrodes, les vapeurs étant dirigées à cet endroit dans le sens du champ ; puis, au milieu de l'arc, il se produit une surface de vis très large à pas très petit, réunissant les deux traits précédents.

Quoi qu'il en soit, nous voyons nettement ici encore, à la pression atmosphérique, se produire deux mouvements distincts des molécules chargées dans le champ magnétique. Elles commencent par suivre une trajectoire nettement rectiligne, pour s'enrouler ensuite autour du champ.

Quand l'arc devient plus petit encore, le phénomène se complique. Une large surface hélicoïdale se produit toujours ; mais, au centre du phénomène, on voit deux traits de feu formant des hélices, l'une à droite, l'autre à gauche, et à pas très longs. Parfois ces hélices semblent se réduire à une ligne rigoureusement droite. Nous ne savons d'ailleurs rien sur le sens dans lequel elles sont parcourues par les molécules matérielles.

Quand l'arc est normal aux lignes de force, il est étalé en une large nappe lumineuse mince, normale aux lignes de force.

En somme, de toutes les expériences ci-dessus décrites il résulte que les décharges électriques dans les milieux gazeux ont deux formes de trajectoires stables, quand elles traversent un champ magnétique, l'une dans la direction même du champ, l'autre suivant des hélices qui s'enroulent autour de celui-ci.

Cette séparation de la décharge en deux parties est d'autant plus aisée à réaliser que la pression est moins élevée. Dans le cas de la pression atmosphérique il faut employer un arc très court dans lequel la force vive des molécules ionisées soit très grande, de manière à rendre négligeable la réaction élastique du milieu. Mais, en somme, le phénomène est absolument général, et ses conséquences théoriques me semblent mériter quelque attention.

La théorie de Crookes sur le phénomène cathodique est en effet à elle seule fort probable ; si nous l'admettons, nous voyons par les expériences précédentes que les molécules chargées émises dans un champ magnétique se distribuent bien comme la théorie de Zeeman-Lorentz l'exige. La continuité des phénomènes entre l'arc électrique jaillissant dans l'air libre et les rayons cathodiques vient d'ailleurs donner à cette hypothèse une force nouvelle.

Considérons maintenant la corrélation de ces phénomènes avec celui de Zeeman. Nous avons vu combien probable était l'ionisation dans les gaz incandescents, et nous voyons que cette hypothèse, si probable par elle-même, concorde parfaitement avec l'hypothèse de Crookes sur les rayons cathodiques, et notre quasi-certitude sur la nature de l'arc électrique.

Ces expériences nous éclairent donc fort sérieusement sur la nature du phénomène cathodique, et en même temps nous amènent à concevoir que le rayon cathodique n'est autre chose qu'un ensemble de molécules identiques à celles des sources lumineuses, mais soustraites aux forces élastiques. Dans ces idées, un tube de Crookes serait une source lumineuse à mouvements finis.

Quand la pression augmente, une partie seulement de l'énergie peut être employée en mouvement de convection, l'autre étant transformée en mouvements vibratoires qui illuminent le gaz.

En somme, les mouvements matériels qui produisent l'émission des radiations par le gaz incandescent et ceux des rayons cathodiques dans les tubes de Crookes nous apparaissent comme deux phénomènes du même ordre, mais différents par la forme des mouvements, les diverses formes de la décharge électrique dans les gaz présentant tous les intermédiaires entre ces deux phénomènes extrêmes et purs.

Relation entre l'aimantation des aiguilles aimantées et leur longueur. Essai d'une théorie de la distribution magnétique ;

Par M. P. Morin [1].

Définitions. — Un aimant mobile autour d'un axe vertical étant orienté dans sa position d'équilibre, il faut développer un certain effort, exécuter un certain travail, pour l'amener dans une position perpendiculaire. Ainsi orienté en croix avec le méridien magnétique, l'aimant possède une énergie potentielle qui dépend, d'une part, du milieu, ou champ magnétique, dans lequel il se trouve, d'autre part, des divers caractères géométriques et magnétiques de l'aimant.

On donne le nom de *moment magnétique* à la fonction spéciale des

---

[1] Séance du 16 avril 1898.

caractères propres de l'aimant qui représente son aptitude à s'orienter dans un champ magnétique quelconque.

L'observation, même superficielle, des faits montre que le moment magnétique dépend des dimensions de l'aimant; il augmente généralement avec ces dimensions, et, par conséquent, avec le volume. On est donc porté à croire que le moment est une fonction du volume et de l'état magnétique de l'aimant. Il est commode de concevoir cette fonction comme le produit du volume et d'une grandeur appelée l'*intensité moyenne d'aimantation*. Cette grandeur serait donc le quotient du moment magnétique divisé par le volume, c'est-à-dire le moment moyen de l'unité de volume dans l'aimant.

Si l'on fait varier l'une des dimensions d'un aimant ou, plutôt, si l'on prend plusieurs aimants de même nature, aimantés dans des conditions identiques, mais qui diffèrent par une dimension, on constate que l'intensité moyenne d'aimantation n'est pas la même; cette intensité varie donc avec les dimensions.

But des recherches. — Je me suis proposé de trouver les relations qui semblent devoir exister entre l'intensité d'aimantation et chacune des trois dimensions. Les expériences sur la longueur, en particulier, m'ont fourni des résultats que je trouve intéressants et des conséquences assez inattendues.

Mode opératoire. — *Premières expériences.* — J'ai opéré d'abord sur une série de tronçons de fil d'acier de 2 millimètres de diamètre pris dans le même échantillon, qui était... une baleine de parapluie. J'ai coupé des longueurs de 1, 2, 4, 8, 16 et 24 centimètres ; je les ai aimantées à saturation en les faisant passer, à différentes reprises, les unes à la suite des autres, dans une bobine magnétisante de 50 centimètres de long, ayant 3 millimètres de diamètre intérieur portant deux couches de fil conducteur de 8/10 millimètre de diamètre traversé par un courant de 5 ampères environ ; ce qui donne un champ magnétisant d'environ 137 C. G. S. Je me suis assuré qu'on n'augmentait pas l'aimantation des diverses aiguilles en augmentant la densité du courant; elles étaient donc saturées.

J'ai ensuite déterminé les intensités moyennes d'aimantation par la méthode des oscillations à l'aide de la formule

$$A = \frac{\pi^2 D}{12H} \cdot \frac{l^2}{t^2}$$

qui s'établit aisément en partant de la formule de la durée d'une

oscillation. Dans ce genre d'expériences, le facteur $\frac{\pi^2 D}{12H}$ est constant ; il était égal à environ 34 dans les conditions où je me trouvais.

La détermination de mes intensités ne dépend donc que de deux mesures relativement faciles : la longueur des aiguilles et la durée d'une oscillation simple. D'ailleurs, l'intérêt de mes expériences n'est pas dans la valeur absolue des résultats, mais dans leur valeur relative.

Résultats. — Avec cette première série d'aimants, voici ce que j'ai trouvé :

Longueurs.....	1	2	4	8	16	24 cm
Durées d'oscillation.....	$\frac{10}{9}$	1,6	2,1	2,5	3,37	4,64 s
Intensités d'aimantation..	27,54	53,1	123,3	348,2	765	907 C.G.S.

Pour faire parler ces résultats, je les ai représentés graphiquement en portant les longueurs d'aiguilles en abscisses et les inten-

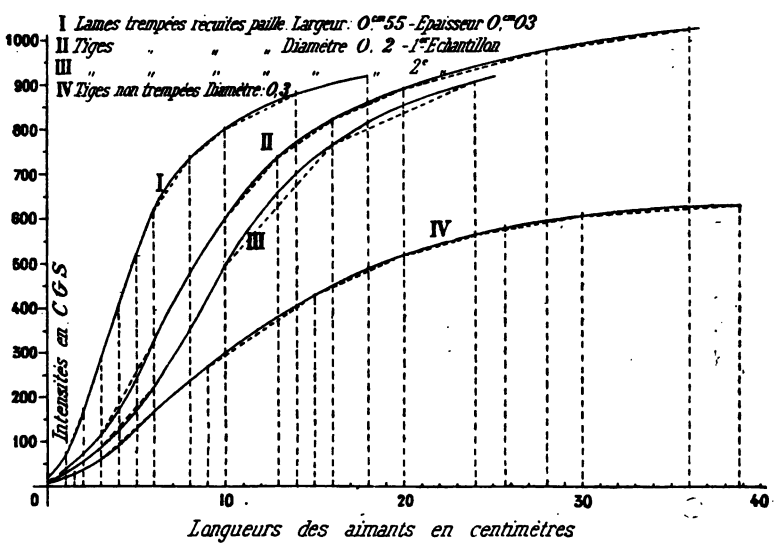

Fig. 1.

sités en ordonnées ; j'ai relié les divers points par une courbe continue (courbe III, *fig.* 1). Cette courbe, au début, a l'allure d'une parabole ou d'une hyperbole, puis elle s'infléchit vers le point qui

correspondrait à peu près à une aiguille de 9 centimètres, elle tend ensuite vers une asymptote qui serait parallèle aux abscisses et à une hauteur d'environ 1200 C. G. S. Cette courbe montre donc que *l'intensité moyenne d'aimantation croît toujours avec la longueur, plus vite qu'elle d'abord, moins vite ensuite, et qu'elle tend vers une limite maxima.*

Si l'on trempe les diverses aiguilles dans la limaille de fer, on voit que les petites, jusqu'à 8 centimètres, attachent les parcelles de métal sur toute leur longueur ; les longues n'attachent la limaille que sur deux zones terminales, longues chacune de 4 à 4,5 centimètres.

Ce genre de faits est connu depuis Coulomb, et voici l'explication qu'on en donne : la limaille ne s'attache que sur les régions des aimants où il y a des masses magnétiques libres ; donc la zone moyenne des longues aiguilles en est dépourvue, et par conséquent l'aimantation y est uniforme.

Un long aimant est donc composé de trois parties de caractères différents : deux zones terminales d'aimantation non uniforme et une zone centrale d'aimantation uniforme. Cette dernière peut être considérée comme un *aimant simple* ou *idéal* qui n'aurait de masses magnétiques libres qu'aux extrémités seulement. D'après cela, le moment magnétique de l'aimant serait égal à la somme des moments des trois zones.

Conséquences. — Quand on considère plusieurs *aiguilles longues*, taillées dans le même échantillon d'acier, saturées, *il semble* que les zones terminales sont identiques dans toutes les aiguilles et que les zones centrales diffèrent seulement les unes des autres par la longueur. Les résultats précédents vont nous prouver qu'il en est réellement ainsi.

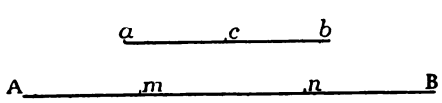

Fig. 2.

Pour le vérifier, considérons d'abord deux aiguilles de longueurs inégales *ab* et AB (*fig.* 2), assez grandes pour qu'il y ait une zone censée uniforme dans chacune d'elles. On peut diviser par la pensée AB en trois segments : les segments terminaux A*m* et *n*B respectivement égaux aux deux moitiés de l'aiguille *ab* ; le segment central

mn. Les deux premiers doivent compter dans le moment de l'ensemble pour une quantité égale au moment de *ab*. Donc, si l'on retranche celui-ci, (M_{ab}), du moment de AB, (M_{AB}), on doit avoir le moment du tronçon censé uniforme *nm*; on en déduira son aimantation.

Si l'aimantation est réellement uniforme dans une certaine région et si les zones terminales sont réellement identiques, quelles que soient les longueurs des aiguilles *ab* et AB, nous devrons toujours trouver la même intensité pour les segments *nm*. Or la courbe nous permet de trouver les intensités d'aiguilles autres que celles des expériences, par exemple celle de 10 centimètres dont l'intensité moyenne est environ 500. Nous aurons donc :

$$\mathfrak{M}_{24} = 907 \times 24\ S = 21\,768\ S$$
$$\mathfrak{M}_{16} = 763 \times 16\ S = 12\,000\ S$$
$$\mathfrak{M}_{10} = 500 \times 10\ S = 5\,000\ S;$$

par conséquent, en retranchant ces égalités deux à deux, on a :

$$\mathfrak{M}_{24} - \mathfrak{M}_{16} = 9.560\ S$$
$$\mathfrak{M}_{24} - \mathfrak{M}_{10} = 16.768\ S$$
$$\mathfrak{M}_{16} - \mathfrak{M}_{10} = 7.208\ S.$$

Les volumes des segments correspondants étant 8,S pour le premier, 14,S pour le second, et 6,S pour le troisième, les intensités d'aimantation sont :

$$A_{16}^{24} = 9.560 : 8 = 1.195$$
$$A_{10}^{24} = 16.768 : 14 = 1.196$$
$$A_{10}^{16} = 7.208 : 6 = 1.201.$$

Ces nombres sont assez voisins les uns des autres pour qu'on les admette comme égaux, étant donné le grand nombre de causes de petites erreurs que comporte ce genre d'étude. L'hypothèse émise antérieurement est donc confirmée.

Longueur de la zone non uniforme. — Si l'on compare, en suivant la même méthode, des aiguilles de longueurs décroissantes, différant de 1 centimètre les unes des autres, il arrive un moment où l'intensité du tronçon médian de l'aiguille supérieure est inférieure à la constante que l'on rencontre dans les aiguilles plus longues ; c'est qu'alors on est en présence d'une aiguille, au moins, n'ayant plus de zone uniforme, et l'on peut trouver, à 1/2 centimètre près, l'endroit où se termine la zone en question. Ainsi l'intensité de l'aiguille de

9 centimètres est 430, d'après la courbe III (*fig.* 1); donc :

$$\mathfrak{M}_9 = 430 \times 9 \text{ S} = 3.870 \text{ S},$$

et comme :

$$\mathfrak{M}_{10} = 5.000 \text{ S},$$

on a :

$$\mathfrak{M}_{10} - \mathfrak{M}_9 = 1.130 \text{ S},$$

soit :

$$A_9^{10} = 1\,130,$$

quantité notablement inférieure à 1195 ; l'aiguille de 10 centimètres n'a donc pas 1 centimètre de zone uniforme, si même elle en possède une ; l'aiguille de 9 centimètres n'en a pas. Admettons que la zone uniforme disparaisse dans l'aiguille de 9,5 centimètres, cela fait pour chaque zone non uniforme :

$$\frac{9,5}{2} = 4,75 \text{ cm}.$$

Longueur de l'aimant simple équivalent à un aimant réel donné. — Supposons que les masses magnétiques disséminées dans la zone terminale de l'aimant soient concentrées dans une section transversale telle qu'elles éprouvent la même action résultante de la part du champ magnétique, nous aurons ainsi un aimant simple, uniforme dans toute son étendue, et qui aura le même moment magnétique ; les tranches de concentration seront les *pôles vrais* de l'aimant réel. Il faut évidemment que les tranches en question soient entre les extrémités des zones terminales, en sorte que l'aimant simple équivalent est plus court que l'aimant réel d'une quantité $2x$, telle que x est la distance de chaque pôle à l'extrémité. Les moments des deux aiguilles de 16 et de 24 vont nous permettre de calculer x et la masse polaire m. En effet on doit avoir :

$$\mathfrak{M}_{24} = (24 - 2x)\, m = 21.768 \text{ S}$$
$$\mathfrak{M}_{16} = (16 - 2x)\, m = 12.208 \text{ S},$$

système de deux équations à deux inconnues qui donne :

$$x = 2,9 \text{ cm},$$
$$m = 1.195;$$

ce dernier résultat pouvait se prévoir, car, si l'intensité uniforme est 1.195, les 1.195 C. G S. qui se trouvent dans chaque tranche de la

zone uniforme deviendront nécessairement libres successivement au long de la zone non uniforme.

Position du pôle dans la zone terminale. — Si l'on compare la distance $x = 2{,}9$ à la longueur de la zone terminale, 4,75, on voit qu'elle fait *plus de la moitié de cette zone.* Le *pôle*, qui est le centre de moyenne distance des masses par rapport au centre de l'aimant, *serait donc plus près de la limite de la zone uniforme que du bout de l'aimant*, et par conséquent IL Y AURAIT PLUS DE MASSES MAGNÉTIQUES LIBRES VERS LA ZONE UNIFORME QUE VERS L'EXTRÉMITÉ DE L'AIMANT.

Voilà un résultat qui est en opposition formelle avec les idées communément admises jusqu'à présent.

NOUVELLE HYPOTHÈSE. — Cette contradiction m'a suggéré une hypothèse nouvelle que je vais tâcher de justifier. Dans les aiguilles à zone uniforme, les zones terminales doivent être identiques, comme il résulte des calculs précédents; or n'en serait-il pas de même, sous réserve de la longueur, dans les aiguilles courtes; c'est-à-dire, quelles que soient les longueurs des aiguilles considérées, l'*aimantation ne serait-elle pas la même dans toutes les tranches qui se trouvent à égale distance des extrémités ?*

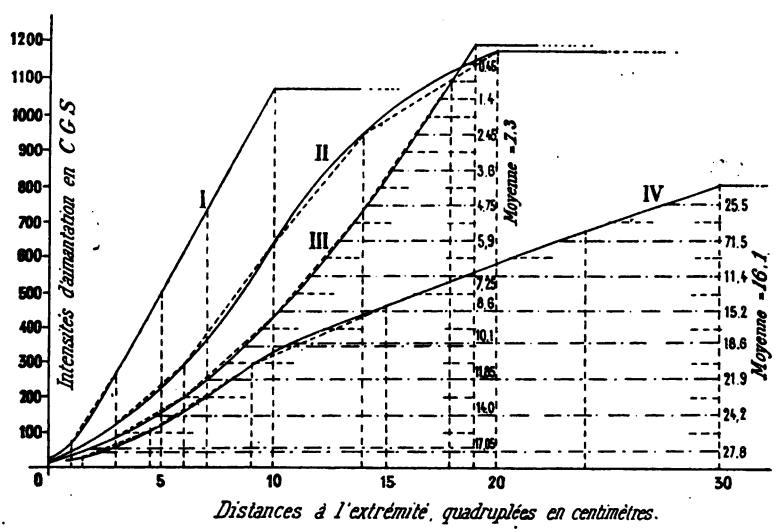

FIG. 3.

S'il en était ainsi, en procédant comme précédemment par comparaison des moments d'aiguilles régulièrement décroissantes, on

pourrait calculer l'aimantation moyenne des tronçons médians de 1 centimètre dans les aiguilles qui n'ont pas de zone uniforme ; on aurait aussi par cela même l'intensité hypothétique dans les tronçons successifs de un demi-centimètre, dont se compose la zone terminale. A l'aide de ces nombres on pourrait construire la courbe d'aimantation hypothétique de la zone terminale. C'est ce que j'ai fait, et j'ai ainsi obtenu la courbe III (*fig.* 3). Cette courbe présente encore l'allure d'une parabole ; elle doit évidemment s'arrêter à l'horizontale de 1.195 C. G. S. ; qui représente l'aimantation de la région uniforme ; le point de rencontre correspond à une distance de 4,75 centimètres à l'extrémité, ce qui confirme l'exactitude du nombre précédemment adopté pour longueur de la zone non uniforme.

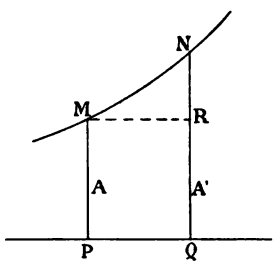

FIG. 4.

Dans l'hypothèse où cette courbe représente bien l'aimantation dans les diverses tranches de la région terminale, elle va nous donner la distribution des masses libres. En effet, si la différence d'aimantation entre deux sections déterminées, PQ (*fig.* 4), est $A' - A = NR$, c'est que, dans le tronçon limité par ces deux sections, une quantité de magnétisme égale à NR devient libre. On peut donc, d'après cela, partager les zones terminales en n tronçons portant chacun $\frac{1}{n}$ de la masse totale. Il suffit, pour cela, de partager l'ordonnée maxima de la courbe en n parties égales, de mener par les points de division des perpendiculaires à cette ordonnée jusqu'à la rencontre de la courbe, enfin de projeter ces points d'intersection sur l'axe des longueurs. La figure nous donnera aussi les distances moyennes de ces masses égales à la limite de la zone uniforme ou à une tranche quelconque de cette zone. Cela nous permettra de calculer la distance moyenne de l'ensemble des masses et la position du pôle dans cette distribution hypothétique. Or, sur l'original de la courbe III de

la *fig.* 3, construit avec des longueurs quadruplées, la distance moyenne des masses à la tranche limite de la zone uniforme est 7,3 centimètres. Le rapport de cette distance à la longueur 19 centimètres qui représente la zone terminale est $\frac{73}{190}$.

Or j'ai trouvé antérieurement que le pôle est à 2,9 centimètres de l'extrémité ou à 4,75 — 2,9 = 1,85 de la tranche considérée. Le rapport de la distance du pôle vrai à la longueur de la zone terminale est donc :

$$\frac{1,85}{4,75} = \frac{74}{190},$$

rapport qui diffère du précédent de $\frac{1}{190}$ seulement, ce qui représente un écart de 1/4 de millimètre dans la réalité.

Donc le pôle calculé d'après la distribution que j'ai obtenue comme conséquence de l'hypothèse émise précédemment coïncide bien avec le pôle réel ; donc la distribution hypothétique doit être la distribution réelle, et je me crois fondé à énoncer la loi suivante :

« *Dans les aimants saturés de même nature et de même section, l'aimantation est la même dans toutes les tranches prises à égale distance de l'extrémité ; les masses magnétiques libres vont en augmentant à partir de l'extrémité, au moins jusqu'à une certaine distance.* »

Courbes d'aimantation. — Les intensités d'aimantation dans les diverses tranches d'un aimant long, saturé, peuvent donc être représentées par des courbes dans le genre de la *fig.* 5. Pour des

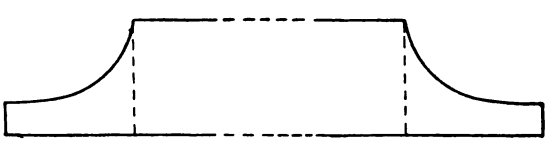

Fig. 5.

aimants courts de même nature et de même section, également saturés, l'on aurait des courbes dans le genre de celles de la *fig.* 6. On voit, à l'inspection de ces courbes, que les masses libres le long des aimants courts vont en diminuant de plus en plus avec la longueur, et l'on se rapproche encore de l'aimant idéal, c'est-à-dire de l'aimant qui n'aurait de masses libres qu'à ses

deux faces polaires ; d'après cela, on peut voir que la position du pôle par rapport aux extrémités varie beaucoup : dans une aiguille longue de 50 diamètres, le rapport de la distance des pôles à la longueur sera $\frac{73}{190}$, par exemple ; dans une aiguille de 15 diamètres il serait environ 1/2 ; pour une de 5 diamètres, le rapport devient égal à 3/4.

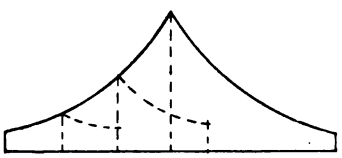

Fig. 6.

Le rapport trouvé plus haut est susceptible d'une interprétation simple : Si l'on compare à l'aimant réel l'aimant idéal équivalent, on voit que ces deux aimants ont une partie identique, la zone moyenne uniforme de l'aimant réel. Si l'on retranche cette partie identique de part et d'autre, il restera des tronçons équivalents (*fig.* 7). Le rapport

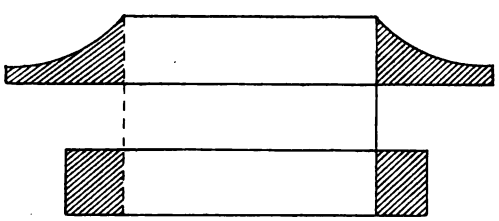

Fig. 7.

trouvé antérieurement est donc le rapport du moment de la zone terminale non uniforme à celui d'une portion d'aimant uniforme de même longueur ; c'est ce qu'on peut appeler le *rapport d'équivalence.*

Nouvelles expériences. — Tels sont les résultats et conséquences de ma première série d'expériences. Bien qu'il n'y eût là rien que l'on pût attribuer au hasard d'un cas particulier, il eût été téméraire d'asseoir une conviction sur cette unique série ; alors j'en recommençai d'autres, en variant les conditions. J'opérai entre autres : 1° sur des lames d'acier de 0,03 centimètre d'épaisseur et 0,55 centimètre de large, trempées et recuites à consistance de ressort ; 2° sur une nouvelle série d'aiguilles de 2 millimètres de diamètre

tirées d'un échantillon différent du premier; 3° sur des aiguilles non trempées, de 3 millimètres de diamètre. J'ai obtenu ainsi les courbes I, II et IV de la *fig.* 1. On voit que toutes ces courbes ont la même allure que la courbe III, qui correspond à ma première série; elles remontent plus ou moins vite et plus ou moins haut, mais elles sont toutes infléchies de la même manière.

D'après ces courbes et par les considérations que j'ai précédemment exposées, j'ai construit les courbes d'aimantation dans les zones terminales (courbes I, II et IV, *fig.* 3). J'ai encore calculé de deux manières la position du pôle: par la comparaison des moments de deux aiguilles et à l'aide de la courbe d'aimantation. J'ai toujours trouvé le même résultat; ainsi, pour les aiguilles cylindriques de 3 millimètres de diamètre, malgré l'allure toute différente de la courbe d'aimantation IV (*fig.* 3), qui est allongée et infléchie, les valeurs du rapport d'équivalence sont $\frac{81}{150}$ et $\frac{80,5}{150}$ (le pôle est alors plus près de l'extrémité que de la zone uniforme).

Expériences de Coulomb. — Il aurait pu se faire que mon mode opératoire renfermât une cause d'erreur systématique de nature à fausser tous mes résultats; alors je me suis demandé, si, parmi les innombrables expériences de Coulomb, il n'y en aurait pas qui me permissent de comparer mes résultats à ceux du maître. Je me suis procuré le volume des mémoires originaux de Coulomb, publiés par les soins de notre Société, et voici ce que j'ai trouvé :

Dans son mémoire de 1777, Coulomb indique plusieurs séries d'expériences faites sur des lames d'acier qui ne différaient que par la longueur dans chaque série, et qui, d'une série à l'autre, différaient soit par la largeur, soit par l'épaisseur. J'ai traduit les résultats par les courbes I, II, III de la *fig.* 8. Les longueurs les plus faibles employées étaient de 4 pouces (10,83 centimètres). Ces courbes ne présentent pas la partie la plus intéressante au point de vue qui m'occupe. Cependant il est facile de voir que, si les expériences avaient été poussées à des longueurs moindres que 4 pouces, les courbes, convexes vers les ordonnées positives, seraient devenues concaves en dessous d'une certaine longueur d'aiguille; car, si, s'inspirant du sentiment de la continuité des phénomènes naturels, l'on prolongeait ces courbes vers l'origine des coordonnées sans changer le sens de la courbure, elles iraient fatalement couper l'axe des abscisses à droite de l'origine, et l'on aurait une aiguille de longueur

finie, assez grande même, dont l'aimantation serait nulle. Donc ces séries, malgré qu'elles soient incomplètes, n'infirment pas mes résultats.

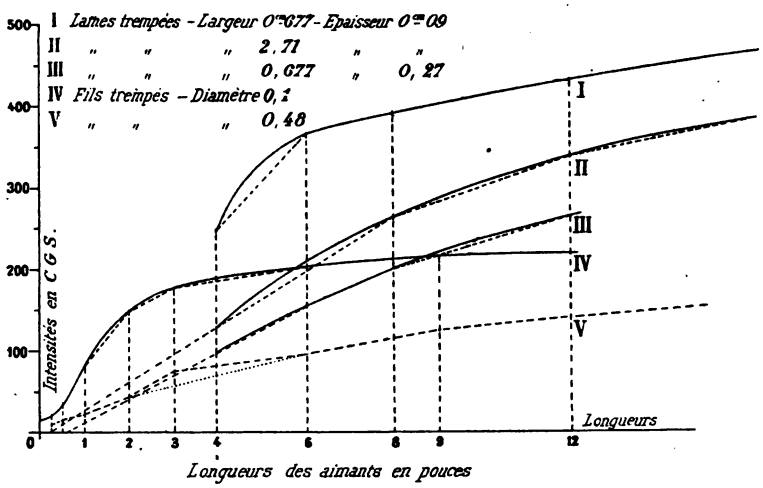

FIG. 8.

Mais, dans le mémoire de 1789, j'ai trouvé deux séries de résultats obtenus dans des conditions presque identiques à celles où je me suis placé. Dans la première, Coulomb opérait sur un fil qui, d'après les données du mémoire, exprimées en anciennes mesures, devait avoir 1 millimètre de diamètre; il expérimenta sur des longueurs de 3 lignes, 6 lignes, 1 pouce, 2, 3, 6, 9 pouces et 1 pied. La courbe IV, *fig.* 3, représente les résultats de cette série. On voit que mes courbes présentent une analogie frappante avec celle de Coulomb. J'ai analysé cette courbe avec la méthode que j'avais appliquée aux miennes. J'ai trouvé que le pôle des longues aiguilles devait être à 1 centimètre du bout; que la zone non uniforme devait avoir une longueur de 2,15 centimètres; le rapport d'équivalence est donc :

$$\frac{1,15}{2,15} = \frac{23}{43}.$$

Or, en construisant la courbe des aimantations terminales et en cherchant le centre de moyenne distance, je trouve comme rapport d'équivalence par cette nouvelle méthode :

$$\frac{24}{43}$$

dont la différence avec la précédente, $\frac{1}{43}$, correspond à un écart absolu de 1/2 de millimètre seulement.

Dans la deuxième série, Coulomb employait des bouts de fils d'environ 5 millimètres de diamètre ; mais il a dû y avoir des erreurs commises, ou bien les divers aimants n'étaient pas dans des états comparables, car les points figuratifs des résultats ne se trouvent pas sur une courbe régulière. On ne peut tirer aucun parti de cette série.

J'ai recherché des résultats analogues obtenus par d'autres expérimentateurs, mais je n'ai à ma disposition que des ouvrages d'ensemble sur la physique, qui sont trop peu documentés sur les détails. Je n'ai trouvé qu'une série due à M. Bouty, dans son édition du *Traité de Physique* de Jamin. Cette série s'arrête encore malheureusement à des longueurs un peu trop grandes pour moi. En effet M. Bouty a opéré sur des fils de 0,55 millimètres de diamètre, et la plus faible longueur pour laquelle il indique des résultats est 2 centimètres, soit 36 fois le diamètre ; or, d'après une règle énoncée par Coulomb et qui ressort très nettement de toutes mes expériences, les aimants présentent une zone uniforme pour toute longueur supérieure à 40 ou 50 fois le diamètre ; donc le plus court aimant de M. Bouty est sur le point d'avoir une zone uniforme ; je ne peux donc pas tirer parti de ces résultats. Néanmoins la courbe des intensités moyennes d'aimantation dans la partie que l'on peut construire présente bien l'allure de celles de Coulomb et des miennes. Je trouve donc là une nouvelle confirmation de mes résultats.

Examen comparatif des courbes d'aimantations terminales. — Il est à remarquer que les quatre courbes de la *fig.* 3 débutent toutes par une sorte de parabole, et même la courbe III, en son entier, est, à très peu de chose près, une courbe de cette sorte ; j'ai en effet construit sa dérivée, et cela me donne très sensiblement une droite dont le coefficient angulaire est $\frac{17}{90}$. Donc, au moins dans une fraction importante de la zone terminale, à partir de l'extrémité, l'accroissement élémentaire de l'aimantation serait proportionnel à la distance à l'extrémité ; l'aimantation elle-même, à une constante près, serait proportionnelle au carré de la même distance.

Quoique ces courbes soient peu nombreuses et ne correspondent pas à un nombre peut-être suffisant d'échantillons d'acier, on peut en tirer quelques déductions qui seraient d'ailleurs appuyées par

d'autres courbes dont j'ai les éléments, mais que je n'ai pas construites sur ces figures.

On voit que les courbes montent d'autant plus rapidement que la section des aimants correspondants est plus faible : la courbe IV représente des aimants ayant 7,07 millimètres carrés de section; les courbes II et III, des sections de 3,14 millimètres carrés ; et la courbe I, des sections de 1,65 millimètre carré. Cette remarque correspond à celle de Coulomb que, pour toutes les aiguilles cylindriques saturées, la longueur des zones non uniformes est dans un rapport à peu près constant avec le diamètre.

D'autre part, l'ordonnée d'origine est d'autant plus grande aussi que les sections sont plus faibles, quoique les maxima d'aimantation ne soient pas dans le même rapport (la trempe intervient). Cette autre remarque signifie que l'intensité moyenne à la base des aimants est d'autant plus grande que les aimants sont plus minces. Cela est encore une conséquence de la loi de similitude de Coulomb [1].

En effet, considérons deux aimants longs, semblables, dont le rapport de similitude est m ; les sections sont dans le rapport :

$$\frac{S}{S'} = m^2.$$

Soient M et M′ les masses polaires, elles sont entre elles comme les sections; car, dans chaque cas, la masse polaire est toujours égale à la charge par tranche dans la zone uniforme; donc :

$$\frac{M}{M'} = \frac{S}{S'} = m^2;$$

mais ces masses sont réparties dans des volumes V et V′ semblables, pour lesquels on a :

$$\frac{V}{V'} = m^3.$$

Les densités moyennes dans ces zones étant $\frac{M}{V}$ et $\frac{M'}{V'}$, on a pour leur rapport :

$$\frac{M}{V} : \frac{M'}{V'} = \frac{M}{M'} \times \frac{V'}{V} = \frac{m^2}{m^3} = \frac{1}{m},$$

c'est-à-dire que le rapport des densités est égal à l'inverse du

---

[1] On sait que Coulomb a montré l'égalité d'aimantation moyenne dans les aimants saturés de dimensions homologues.

rapport de similitude. Toutefois ce résultat ne doit pas être absolu, car, pour une section infiniment petite, l'on aurait une densité infinie, ce qui est impossible. Il est probable qu'il n'y a pas similitude absolue dans les distributions, comme le calcul précédent le suppose implicitement.

Expérience synthétique. — Outre les expériences dont j'ai rendu compte précédemment, et que j'appellerais volontiers des expériences analytiques, j'ai fait depuis longtemps déjà des expériences synthétiques qui conduisent à des résultats analogues. En voici une : J'ai pris des tronçons d'acier de 2 millimètres de diamètre et de 20 millimètres de long ; je les ai aimantés à saturation, en série, dans ma bobine magnétisante ; j'ai ensuite constaté, avec une sorte de magnétomètre de ma construction, qu'ils étaient tous dans un état identique d'aimantation. Alors j'ai déterminé, à l'aide de la balance de torsion, l'effort nécessaire pour amener chacun d'eux dans une direction perpendiculaire au méridien magnétique ; j'ai trouvé 4° de torsion. Ensuite j'en ai mis deux bout à bout et orientés de même sens dans le petit tube qui servait de chape, et j'ai mesuré le nouveau moment ; j'ai trouvé 13°. L'addition d'un troisième élément fait passer le moment à 24° ; un quatrième le fait arriver à 35° ; un cinquième à 47° ; à partir de ce nombre, toute addition nouvelle augmente le moment de 13° environ. Par conséquent, tout se passait comme si les zones terminales fussent devenues invariables et comme si l'on eût ajouté au milieu un élément aimanté à l'intensité constante de 13°. Donc, dans ce système d'aimants, on retrouve les caractères des aimants d'une seule pièce : augmentation de l'aimantation moyenne avec la longueur, existence d'une région médiane uniforme dans tous les longs aimants.

Quand on démonte un tel système, on retrouve les éléments identiques à ce qu'ils étaient auparavant.

ESSAI D'UNE THÉORIE DES AIMANTS

Nécessité d'une théorie spéciale. — En présence des résultats que j'ai obtenus, il m'a paru difficile d'expliquer les caractères des aimants par les conceptions ordinairement admises : en particulier, il me paraît impossible de dire que l'état d'aimantation moindre, constaté depuis longtemps dans les zones terminales des aimants, serait dû à l'action démagnétisante des masses magnétiques libres

situées aux extrémités, puisque ces masses paraissent en plus grande quantité à une certaine distance du bout qu'au bout lui-même. J'ai donc cherché une théorie de la constitution des aimants pouvant s'accorder avec ce que j'ai trouvé, en m'aidant de certains résultats de Coulomb que j'ai retrouvés par des expériences analogues.

Faits fondamentaux. — Je reprends sommairement les principaux faits : Pour tout aimant de nature et de dimensions données il existe un état d'aimantation appelé *saturation*, dans lequel son moment magnétique est maximum. Dans cet état [1], l'intensité d'aimantation par tranches croît toujours à partir de chaque bout (dans certains cas elle paraît être proportionnelle au carré de la distance à l'extrémité). Si l'aimant est suffisamment long, l'aimantation, qui croît assez vite avec la longueur, atteint un maximum à une distance de l'extrémité qui est fonction de la forme et des dimensions de la section, distance proportionnelle au diamètre dans les aiguilles cylindriques et égale, environ, à 25 fois ce diamètre. A partir de la tranche d'aimantation maxima, l'intensité demeure constante jusqu'à une tranche symétrique de la première par rapport au centre de l'aimant. Enfin, comme l'a démontré Coulomb, l'intensité moyenne d'aimantation est la même dans tous les aimants de même nature, saturés et géométriquement semblables (Loi de similitude).

Structure hypothétique des aimants. — Je considérerai un aimant comme formé d'éléments magnétiques, qui pourront être les molécules de l'acier ; ces éléments jouissent de toutes les propriétés des aimants finis ; ils possèdent un axe magnétique qui s'oriente toujours d'une manière déterminée dans un champ magnétique ; ils sont susceptibles de prendre une aimantation très variable sous l'influence d'un champ magnétique, c'est-à-dire de forces magnétiques extérieures ; par conséquent, ils ont un moment magnétique propre, susceptible de varier entre des limites très étendues. On peut grouper ces éléments suivant les trois dimensions de l'espace, de manière à obtenir trois systèmes magnétiques types : 1° en lignes telles que les axes magnétiques soient dans le prolongement les uns des autres et orientés de la même manière ; cela donne des *filets magnétiques ;* 2° en surfaces normales aux axes magnétiques, encore orientés de la même manière, et présentant l'épaisseur d'une simple

(1) Et probablement, même, dans l'état non saturé.

molécule, ce sont les *feuillets magnétiques;* 3° enfin, en volumes considérés comme des faisceaux de filets ou comme des piles de feuillets ; on a alors les *aimants réels*.

Aimant long limite. — Cela posé, si la loi de similitude de Coulomb est exacte, et s'il en est de même de la loi que j'ai énoncée antérieurement, en considérant des aiguilles longues saturées, de plus en plus petites, je pourrai admettre qu'à la limite l'aiguille longue se réduit par similitude à une simple ligne de molécules d'acier, ou d'éléments magnétiques, à une portion de filet que j'appellerai un *filet magnétique réel.* Dans ce filet, la courbe des aimantations aura la même allure que dans les aimants que j'ai étudiés, seulement les zones non uniformes seront extrêmement courtes, car, 24 à 25 fois le diamètre, cela représente vraisemblablement une série linéaire de 24 ou 25 molécules, en sorte que la courbe d'aimantation limite montera très vite pour atteindre la ligne horizontale représentant l'aimantation constante et maxima à une très faible distance de l'axe des intensités. En outre, l'ordonnée d'origine sera notablement plus grande que pour les aimants de dimensions finies.

Maxima divers d'aimantation moléculaire. — La loi d'aimantation terminale que j'ai énoncée comme conséquence de mes recherches comporte le corollaire suivant : Dans les aiguilles saturées de même section et de même nature, l'intensité d'aimantation à la base est indépendante de la longueur de l'aiguille et dépend seulement de la nature de l'acier et de la section. Elle serait donc encore la même, si la longueur de l'aimant se réduisait à l'épaisseur de 1 molécule, c'est-à-dire si l'aimant se réduisait au feuillet terminal. De même, dans le filet réel saturé, que j'ai considéré précédemment, l'aimantation de la molécule terminale doit être indépendante de la longueur du filet, c'est-à-dire du nombre des molécules qui le composent; elle est la même que si la molécule était absolument seule dans l'espace indéfini, en dehors de tout champ magnétique; elle présente donc un maximum spécial d'aimantation correspondant au cas de la molécule ayant au moins une face polaire en contact avec le milieu non magnétique. Les molécules du centre du filet, si celui-ci dépasse 50 longueurs de molécules, présentent de leur côté un autre genre de maximum, supérieur au précédent, correspondant au groupement de molécules dont les faces polaires sont en regard d'autres molécules. J'appellerai ces deux maxima, des maxima de premier ordre; ce sont ceux que peuvent atteindre les molécules magnétiques en dehors de

toute action de champ émanant d'un système extérieur. Enfin, sous l'action d'une force magnétisante extérieure, l'expérience montre qu'un aimant saturé peut acquérir temporairement une aimantation supérieure, mais qui, elle-même, ne peut être illimitée ; les molécules peuvent donc présenter deux nouveaux maxima que j'appellerai maxima du deuxième ordre ; le maximum supérieur du deuxième ordre sera évidemment un *maximum absolu*.

Mécanisme des actions magnétiques à l'intérieur d'un aimant. — Supposons donc que, par l'action d'un champ magnétisant suffisamment intense, c'est-à-dire par une modification du milieu cosmique, on ait communiqué à toutes les molécules d'un aimant une aimantation supérieure aux maxima de premier ordre. Quand on supprimera le champ magnétisant, c'est-à-dire quand on laissera le milieu cosmique reprendre son état normal, les molécules, vraisemblablement animées d'une énergie spéciale, perdront une certaine partie de cette énergie, et l'aimantation du système prendra un état d'équilibre dans lequel les molécules auront leurs maxima respectifs du premier ordre. Voyons ce qui peut alors se passer dans les diverses parties d'un aimant, en suivant la marche synthétique.

A. *Synthèse du filet.* — Prenons le filet réduit à sa plus simple expression, formé de 2 molécules, *a* et *b* (*fig.* 9) ; ces molécules sont au maximum inférieur du premier ordre, parce qu'elles ont

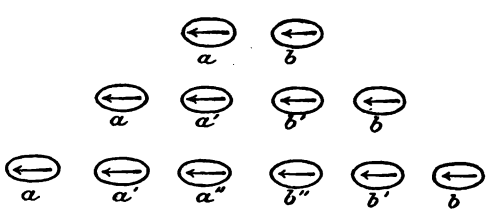

Fig. 9, 10 et 11.

chacune une face en contact avec le milieu indéfini ; intercalons 2 autres molécules, *a'*, *b'* (*fig.* 10), entre les premières ; ces nouvelles molécules ne sont plus en contact immédiat avec le milieu extérieur, elles se trouvent dans un champ magnétique, c'est-à-dire dans un espace où le milieu cosmique est modifié de manière à leur permettre de prendre une aimantation nouvelle, concordant avec leur aimantation initiale propre et qui s'ajoutera à cette aimantation. Le moment magnétique du système des 4 molécules sera donc supérieur

à 4 fois le moment de chacune d'elles prise isolément. Si nous intercalons deux nouvelles molécules a'', b'' (*fig.* 11) entre a et b', le champ magnétique entre ces deux dernières étant plus fort qu'il ne l'était entre a et b, les deux nouvelles molécules pourront éprouver une suraimantation encore plus grande, en sorte que l'intensité moyenne d'aimantation aura encore augmenté. Il est facile de comprendre que l'accroissement d'aimantation moléculaire pour chaque paire de molécules intercalée ira en augmentant, et, par conséquent, ce qu'on a l'habitude d'appeler la masse magnétique libre ira en augmentant à partir de l'extrémité. Il est très probable que, dans ce cas élémentaire, la courbe d'aimantation terminale serait une vraie parabole.

Par suite de cet accroissement rapide de l'aimantation moléculaire, les molécules centrales arriveront bientôt au maximum supérieur du premier ordre, et, au-delà d'une cinquantaine de molécules, toutes celles de la région médiane seront à ce maximum, également aimantées.

B. *Synthèse du feuillet.* — Disposons 2 molécules orientées dans le même sens sur une ligne perpendiculaire à la direction commune de leurs axes magnétiques. Si des molécules en contact avec le milieu cosmique illimité par leurs faces polaires ne peuvent dépasser une certaine aimantation limite, elles peuvent fort bien descendre au-dessous de cette limite, après l'avoir atteinte un moment. C'est ce qui arrivera pour nos 2 molécules, m et n (*fig.* 12); en effet, chacune d'elles crée un champ magnétique ou une déformation du

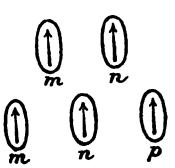

Fig. 12 et 13.

milieu cosmique qui réagit sur l'autre, mais de manière à diminuer son aimantation, en sorte que le moment du système des 2 molécules est forcément inférieur au double du moment de chacune d'elles; mais, à mesure que les molécules se désaimantent, leur réaction mutuelle diminue, et comme l'aimantation paraît présenter une

certaine élasticité, il restera à chaque molécule une aimantation résiduelle telle que la désaimantation élastique est proportionnelle à cette aimantation résiduelle ; appelons celle-ci x, et soit a l'aimantation primitive de chacune des molécules. On doit avoir [1] :

$$a - x = kx ;$$

d'où :

$$x = \frac{a}{1 + k}.$$

Prenons maintenant 3 molécules, m, n, p (*fig.* 13), disposées en ligne ; la molécule du milieu, n, va éprouver une double action de la part des molécules extrêmes, m et p ; elle éprouvera donc une désaimantation plus grande que les premières dans le cas précédent, mais dès lors elle réagira avec moins de force sur m et p, qui seront un peu plus aimantées que si elles étaient deux, seulement contiguës. En ajoutant de nouvelles molécules, nous obtiendrons des systèmes présentant un minimum d'aimantation au centre et un maximum aux extrémités ; mais ce maximum est inférieur au maximum inférieur du premier ordre, et l'aimantation moyenne du système est d'autant moindre qu'il est plus étendu.

Si, à côté de cette ligne et dans une surface normale aux axes magnétiques, on dispose d'autres lignes de molécules orientées dans le même sens, il interviendra de nouvelles forces démagnétisantes qui diminueront de plus en plus l'aimantation moyenne, laquelle doit être ainsi une fonction de l'étendue de la surface de feuillet formée [2].

C. *Synthèse de l'aimant réel.* — On peut effectuer cette synthèse soit en réunissant des filets réels en faisceau, soit en empilant des feuillets.

Dans le premier cas on peut remarquer que les filets réagissent les uns sur les autres pour se désaimanter mutuellement, comme les molécules du feuillet. S'ils ne sont pas assez longs, la désaimantation se fait sentir dans toute la longueur pour certains d'entre eux, sinon

---

(1) Comme dans les expériences faites avec des aimants finis, groupés en parallèle, x est plus grand que $\frac{a}{2}$, il s'ensuit que $k < 1$.

(2) La loi de similitude tendrait à prouver que, au moins entre certaines limites, l'aimantation moyenne est en raison inverse de la racine carrée de la surface de feuillet.

pour tous, et l'aimant ne présente pas de zone uniforme; il en présentera une, si les filets sont assez longs pour compenser l'action démagnétisante de leur nombre.

Dans le second système, les feuillets empilés se suraimantent de plus en plus au milieu de la pile, comme les molécules du filet; mais, comme l'aimantation moyenne initiale est notablement moindre que celle de 1 molécule isolée, il faut que le système atteigne une plus grande longueur pour que toutes les molécules d'un feuillet central atteigne le maximum supérieur du deuxième ordre.

Sur la télégraphie hertzienne sans fil avec le radioconducteur de M. Branly et les dispositifs de MM. A. Popoff et E. Ducretet;

Par M. E. Ducretet [1].

Les appareils que j'ai l'honneur de vous présenter permettent de réaliser un phénomène qui paraîtrait bien mystérieux si l'explication n'en était donnée :

Un télégraphiste, installé à son manipulateur, envoie par touches longues ou brèves une dépêche qu'enregistre sans l'aide d'aucun fil conducteur, *dit fil de ligne*, le poste récepteur placé à une certaine distance : plusieurs kilomètres ont été ainsi franchis. Bien plus, la dépêche ainsi envoyée dans l'espace semble tomber du ciel, et elle est enregistrée sans la présence du télégraphiste. Seul, de lui-même, l'enregistreur fait dérouler son papier dès qu'une onde électrique arrive, et il s'arrête encore de lui-même dès que ces ondes cessent de se présenter.

Le *récepteur-enregistreur* (*fig.* 1) que j'ai réalisé est *automatique*, et les émissions par longues et par brèves, qu'il enregistre, constituent les signaux du *code Morse*, que nous connaissons tous.

Il me faut vous donner quelques explications sur ces *ondes électriques* qui, lancées d'un endroit, peuvent ainsi *franchir l'espace* et venir actionner un appareil disposé pour les recevoir et manifester leur présence.

---

[1] Séance du 16 avril 1898.

On sait que les oscillations électriques rapides, découvertes et étudiées par *Henri Hertz*, en 1889, donnent lieu à des actions induc-

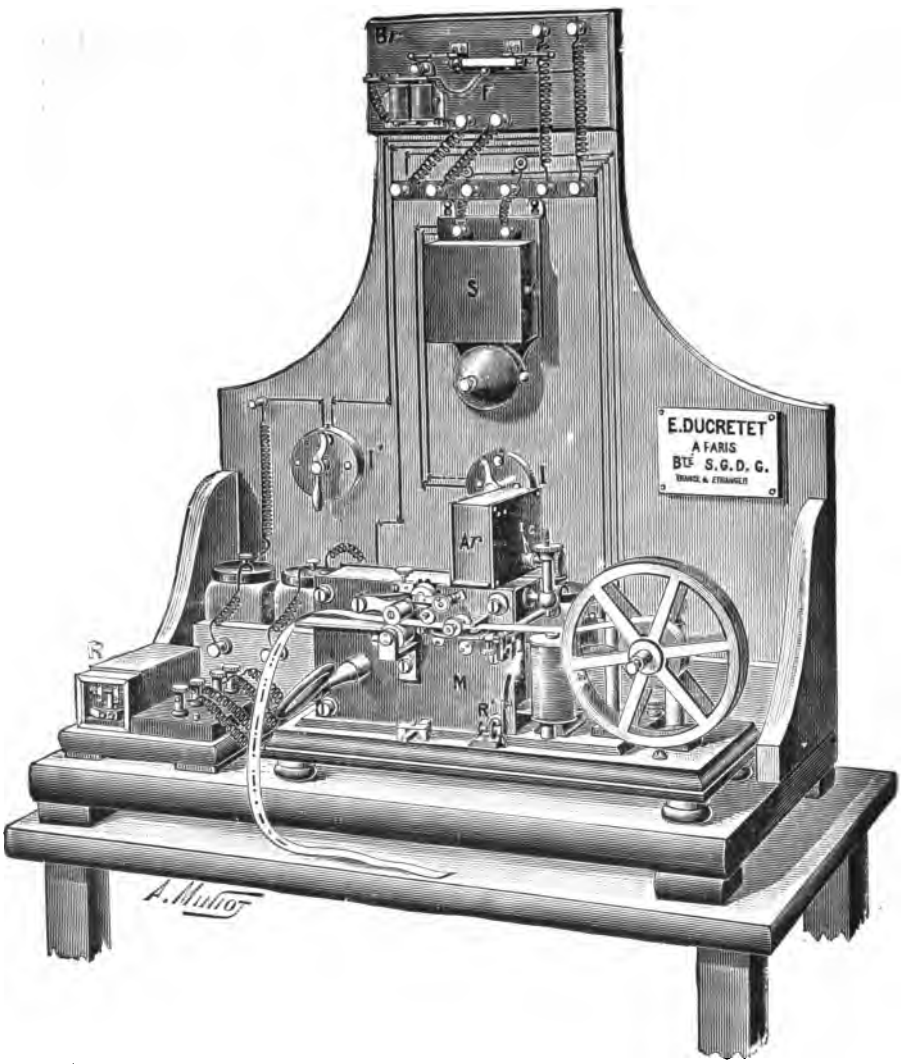

Fig. 1.

trices d'une intensité remarquable dont la propagation peut être constatée à une certaine distance par l'étincelle obtenue dans un circuit conducteur discontinu. Les expériences de Hertz démontrent

l'analogie qui existe entre les ondes électriques et les ondes lumineuses, confirmant ainsi la théorie exposée par *Maxwell* en 1865.

L'appareil de Hertz comprend, dans son ensemble : l'*oscillateur* et le *résonateur ;* un *inducteur* actionne l'oscillateur.

L'inducteur est une puissante *bobine d'induction*, ou transformateur, produisant des décharges périodiques que l'on fait jaillir entre deux sphères métalliques mises en communication avec des surfaces conductrices formant *capacité électrique :* c'est l'*oscillateur* de *Hertz*. Dans ces conditions, la décharge entre les sphères est rendue oscillante et la période d'oscillation varie avec la capacité et la self-induction du circuit; en diminuant l'un et l'autre, on obtient des périodes très courtes que M. le professeur *Bose*, de Calcutta, estime à 50.000 millions par seconde avec des sphères de 6 millimètres de diamètre; mais cette rapidité n'est pas comparable à celle des vibrations lumineuses dont le nombre est estimé à 500 trillions par seconde.

Cette étincelle oscillante peut jaillir dans l'air ou dans les gaz raréfiés, mais MM. *Sarrasin et de la Rive* ont montré que les effets étaient plus durables et plus énergiques en la faisant éclater dans un liquide isolant. Il est également facile de se rendre compte qu'en faisant communiquer une des sphères de décharge avec le sol, la terre joue alors le rôle de capacité électrique; le même effet se produit avec des conducteurs rectilignes ou enroulés en solénoïde, ainsi qu'il est fait pour les appareils de haute fréquence.

A distance, dans les expériences de Hertz, l'action inductrice est constatée par une très petite étincelle que l'on observe dans un conducteur discontinu dont les extrémités peuvent être rapprochées par le jeu d'une vis micrométrique : c'est dans cet intervalle très rapproché que l'étincelle secondaire est observée; cette étincelle discontinue est à succession très rapide, elle peut jaillir dans des tubes à vide.

H. Hertz démontra encore qu'il existait un rapport entre les dimensions des conducteurs primaire et secondaire pour lequel leur action réciproque était maximum, produisant ainsi, par leur accord, un phénomène analogue aux *phénomènes de résonance* observés en acoustique.

Je ne décrirai pas les expériences de Hertz montrant que les ondes électriques traversent les milieux isolants, qu'il est possible de les faire réfléchir, réfracter, interférer, diffracter, et de leur imprimer la polarisation rectiligne, elliptique et circulaire; *celles de leur pro-*

pagation à distance vont nous permettre d'aborder la description de la *télégraphie hertzienne sans fil* réalisée, en 1895, par un savant russe, M. le professeur *Popoff*, puis dans les mêmes conditions, en 1896, par M. *Marconi;* l'un et l'autre utilisant le *tube à limaille* de notre compatriote, M. le professeur *Branly*, qui constitue l'organe indispensable de cette application des ondes électriques.

Ce tube à limaille, qui est un *révélateur* extrêmement sensible, de courants induits, même à grande distance, remplace, par suite, les *résonateurs* de Hertz connus. M. le professeur *Lodge*, en Angleterre, et MM. *Le Royer* et *van Berchem*, à Genève, en font avantageusement usage, depuis 1893, pour déceler la présence des ondes électriques produites à une assez grande distance du tube à limaille de M. Branly.

C'est en 1890 que M. Branly a mis en évidence l'action des *radiations électriques* sur les substances métalliques discontinues, telles que des limailles, libres ou agglomérées dans un isolant, comprises entre deux conducteurs formant un circuit dans lequel se trouvent une pile et un galvanomètre.

Ces substances, primitivement isolantes ou d'une *résistance électrique* très élevée, deviennent *conductrices* lorsqu'elles sont frappées par l'onde électrique ; et, en outre, leur conductibilité disparaît par un choc pour réapparaître quand une nouvelle onde vient les frapper. Le galvanomètre placé dans le circuit du tube à limaille dévie très fortement dès qu'une étincelle éclate à distance ; le choc sur le tube à limaille ramène la résistance initiale et le galvanomètre à zéro.

Cette expérience est fondamentale. M. Branly a montré aussi que ses tubes à limaille, dans certaines conditions de construction, pouvaient revenir d'eux-mêmes, sans choc, à la résistance première.

Ainsi que nous le verrons, il est possible de produire automatiquement le choc sur le tube à limaille.

M. Branly a donné le nom de *radioconducteurs* à ses tubes à limaille ; ce nom rappelle que leur conductibilité s'établit sous l'influence du rayonnement électrique qui émane d'une étincelle produite par une *source électrique quelconque*. La sensibilité de ce révélateur est très grande, et elle se manifeste à distance, même à travers les cloisons et les murs.

Si nous transformons le galvanomètre en *relais* venant alors fermer un circuit local, ou si nous le remplaçons par un *relais télégraphique* très sensible (*fig.* 2), nous pourrons produire en circuit local des

actions énergiques dont le point de départ est l'onde électrique, transmise dans l'espace, sans fils conducteurs, par un milieu intermédiaire, l'*éther*, qui propage les vibrations électriques émises par le transmetteur à étincelles comme il propage les vibrations lumineuses ; dans les deux cas, le mode de propagation de ces ondulations peut se concevoir comme celui des ondes sonores dans l'air.

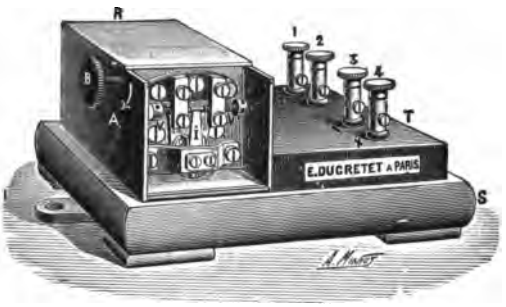

Fig. 2.

Nous avons ainsi tous les éléments nécessaires à la réalisation de la télégraphie hertzienne sans fil ; il suffit que le *relais sensible* commande l'électro-aimant d'un appareil enregistreur et de produire à distance des émissions d'ondes électriques intermittentes, par longues et par brèves, qui constitueront, suivant le *code Morse*, le signal conventionnel à transmettre à travers l'espace.

En même temps le relais commande l'électro-aimant du frappeur qui agit sur la limaille du radioconducteur ; ainsi, *automatiquement*, chaque onde reçue est suivie d'un choc ramenant le radioconducteur à sa résistance initiale.

Dans la pratique, il suffira d'approprier la puissance du transmetteur à étincelles à la distance à franchir.

L'appareil décrit et réalisé en 1895, par M. le professeur *A. Popoff*, était ainsi constitué ; *il en fit usage pour enregistrer les ondes électriques produites par les perturbations atmosphériques et transmettre à grande distance des signaux télégraphiques enregistrés sur un récepteur*. Dès 1895, M. Popoff, dans ses publications et dans ses présentations aux sociétés savantes russes, avait montré que son appareil pouvait être pratiquement employé par la Marine pour la *transmission des signaux* à grande distance.

Pour augmenter la sensibilité de son appareil, M. Popoff relie une

des électrodes du radioconducteur Branly à un fil métallique, isolé, fixé à l'extrémité d'un mât ; l'autre électrode est mise en communication avec le sol. Cette même disposition peut être appliquée aux sphères de décharge de l'oscillateur ; dans les deux cas, ces conducteurs constituent de véritables capacités électriques, ainsi que je l'ai dit.

Le conducteur isolé de l'appareil récepteur est un *collecteur* des ondes électriques lancées dans l'espace, celui de transmetteur jouant le rôle de *radiateur*. Leur longueur totale peut être accordée et varier suivant la distance à franchir. Pour les postes doubles, par le jeu d'un commutateur, ces mâts remplissent alternativement ces deux fonctions.

Ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte sur les tableaux schématiques, ces conducteurs n'ont aucun lien avec les électro-aimants de l'appareil, comme dans la télégraphie électrique ordinaire où la terre sert de *fil de retour* au courant de ligne qui traverse l'électro-aimant du récepteur.

Nous connaissons maintenant tous les organes dont se compose le *système télégraphique sans fil* imaginé et employé par Popoff ; il se résume ainsi :

Les ondes électriques émises par un oscillateur à étincelles, servant de *transmetteur*, arrivent au radioconducteur Branly, qui devient conducteur ; il ferme, par suite, le circuit local du relais qui actionne l'appareil récepteur-enregistreur ; en même temps, automatiquement, un petit *frappeur électrique* agit sur la limaille du radioconducteur. Sous l'action de ce choc, la conductibilité du tube à limaille disparaît et tout reprend l'état primitif, jusqu'à ce qu'une nouvelle onde frappe le tube sensible.

Je vais décrire maintenant les appareils que j'ai l'honneur de vous présenter ; quelques perfectionnements, d'une certaine importance pratique, les caractérisent ; ils me sont personnels. Comme tout appareil télégraphique ils comprennent un *transmetteur* et un *récepteur*.

Le *transmetteur* comprend :

Une *bobine d'induction de Ruhmkorff*, puissante si elle doit agir à grande distance. Le modèle de la *fig.* 3, que j'ai créé, est transportable. Dans le circuit inducteur, *à gros fil*, se trouve un interrupteur à démarrage immédiat ou un trembleur-interrupteur *à marche continue*, suivant la puissance de la bobine d'induction.

Celui qui est expérimenté et que j'ai présenté à la Société [1] est à moteur; son fonctionnement ne laisse rien à désirer comme régularité et vitesse. Un *manipulateur* à main, spécial (*fig.* 4), produit les émissions longues ou brèves.

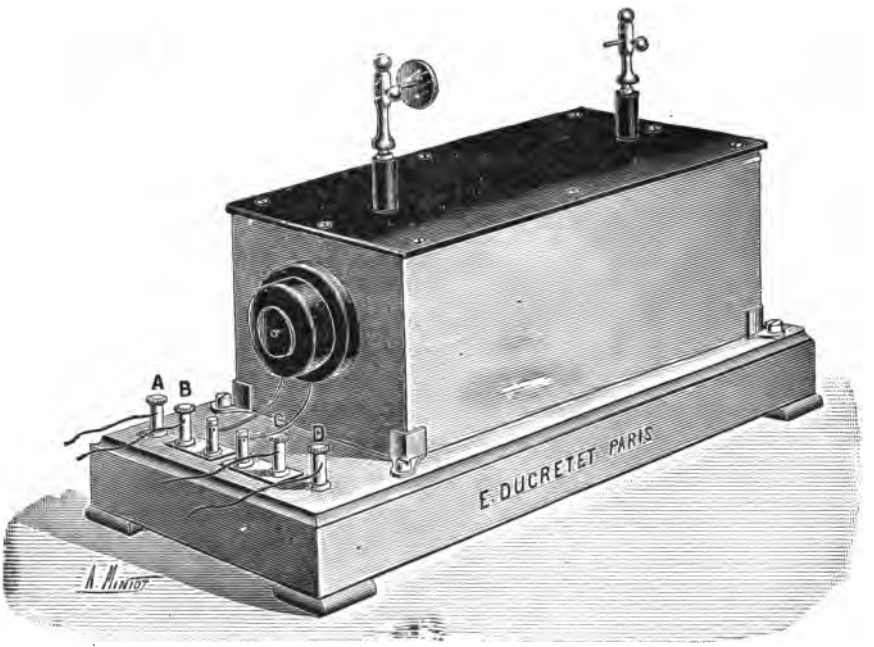

Fig. 3.

Une batterie d'accumulateurs fournit l'énergie électrique qui circule périodiquement dans l'inducteur.

C'est cette énergie électrique, d'une certaine intensité, mais d'une force électromotrice de quelques volts seulement, qui sera transformée dans le circuit voisin, à *fil fin*, bien isolé du premier circuit (inducteur), en une force électromotrice considérable dépassant 200.000 volts pour la bobine mise en expérience ; elle permet d'obtenir des étincelles à distance qui jaillissent entre les sphères de l'oscillateur. Il est utile de faire remarquer qu'après cette transformation l'énergie électrique à haut potentiel, que donne la bobine d'induction, ne dépasse pas 60 watts, soit environ $\frac{1}{12}$ de cheval-vapeur.

(1) Voir *Séances de la Société*, p. 147, année 1897.

L'*oscillateur* (*fig.* 5) est construit suivant les données du *professeur Righi*, mais ce modèle permet d'obtenir tous les réglages de la longueur des étincelles, depuis le contact des sphères entre elles, et d'observer l'étincelle à l'intérieur de la cuve lorsqu'elle jaillit dans un liquide isolant, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. L'oscillateur à trois sphères, employé par M. Lodge et par M. Bose, est d'un bon emploi. Les émissions d'étincelles intermittentes, brèves ou longues,

Fig. 4.

sont produites par le jeu du manipulateur à main, elles donnent naissance aux ondes électriques qui agiront à distance sur le récepteur. Ce récepteur comprend, suivant la *fig.* 1 :

1° Le *radioconducteur Branly* avec son frappeur automatique, disposé suivant *Popoff*. Mon modèle ne comporte pas de tube de verre, et les cylindres intérieurs, entre lesquels se trouve la limaille, *sont avec réglage :* l'action de l'air extérieur sur la limaille est évitée, ainsi que son renouvellement, par le mode de construction adopté pour ce tube sensible.

Les électrodes de ce radioconducteur sont mises en communication avec le fil isolé (collecteur Popoff), et avec la terre, ainsi qu'il a été dit.

2° Un *relais télégraphique* très sensible (*fig.* 2); j'ai indiqué que ceux galvanométriques pouvaient être employés avec avantage. Ce

relais met en action et l'électro-aimant de l'enregistreur et celui du frappeur ;

Pour éviter les effets des étincelles d'extra-courant de rupture, il suffit d'intercaler dans les circuits, ainsi que je l'ai indiqué en 1893, en dérivation, soit des petits voltamètres, soit des résistances ou des condensateurs *ad hoc*. Un rhéotome voltamétrique à tiges de platine donne de bons résultats.

3° Le *récepteur-enregistreur*. Ainsi que je l'ai dit, ce récepteur que j'ai réalisé est à marche automatique ; il permet, pour la télégraphie

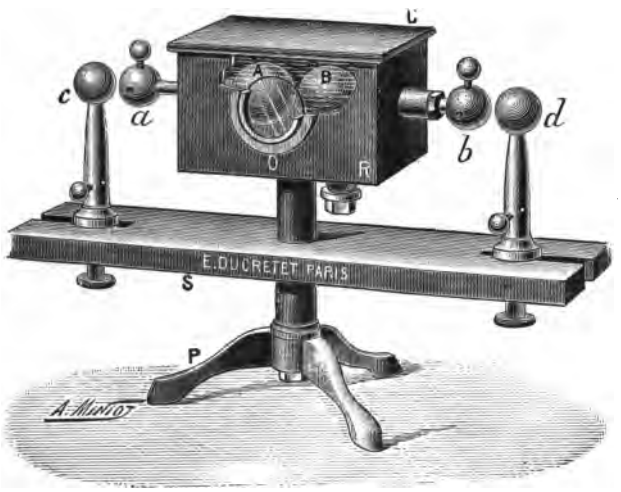

Fig. 5.

hertzienne sans fil, la suppression du télégraphiste pour la réception immédiate des ondes électriques. Cela a une grande importance, et vous vous en rendrez compte :

Le récepteur, par suite de la grande sensibilité du radioconducteur Branly, peut enregistrer toutes les ondes électriques susceptibles d'agir sur le tube sensible, même si elles sont d'origine atmosphérique. Il faut donc un employé télégraphiste en permanence pour faire dérouler le papier à chaque appel et l'arrêter lorsque les ondes cessent de se manifester.

En rendant le *récepteur automatique*, je supprime la présence immédiate, obligatoire, du télégraphiste pour la réception des signaux. Seul, de lui-même, le récepteur fait dérouler son papier dès qu'une onde arrive, et il s'arrête également de lui-même dès que ces

ondes cessent. Un espace blanc sépare chaque dépêche ou chaque réception d'ondes.

Dans la pratique, le rouage d'horlogerie pourra être remplacé par un mouvement électrique permettant encore le déplacement intermittent de la bande de papier et l'enregistrement *automatique* d'un certain nombre de dépêches.

Pour la *télégraphie volante*, sans fil, le radioconducteur et son frappeur actionné par le relais télégraphique peuvent suffire comme récepteur : la lecture des signaux se fait alors *au son* avec des appareils portatifs. Ce groupe peut, à volonté, être relié à un récepteur-enregistreur indépendant, portatif. Les appareils portatifs, transmetteurs et récepteurs, avec mâts à tirage, peuvent prendre place dans des voitures télégraphiques ordinaires ou automobiles.

Les distances franchies dans les premières expériences de M. Popoff ont été de 1.500 mètres, puis de 5 kilomètres en mer, le fil vertical, isolé, ayant 18 mètres de hauteur. Les travaux de Popoff n'ont jamais été interrompus. M. Marconi a pu atteindre 5, 16, 23 kilomètres avec un mât de 25, 30, 36 mètres de hauteur ; les appareils employés ayant la puissance de ceux que j'ai l'honneur de vous présenter. Des expériences récentes semblent démontrer que ces distances seront pratiquement dépassées, par tous les temps, sans élever, dans les mêmes proportions, la hauteur du fil vertical.

Il ne faut pas conclure de ces expériences intéressantes que la *télégraphie hertzienne sans fil* remplacera la télégraphie électrique ordinaire et la télégraphie optique ; mais, par les résultats acquis, il est possible de prévoir les services qu'elle pourra rendre pour les correspondances des navires entre eux et avec la côte, pour les phares et pour les côtes entre elles et avec les îles rapprochées ; pour les postes éloignés de nos colonies africaines et asiatiques et les services volants militaires ou d'exploration, etc., etc.

On voit que le nouveau système télégraphique ne manquera pas d'applications.

Les effets à distance qui caractérisent la *télégraphie hertzienne* ne mettent en jeu, à la réception, qu'une énergie électrique très faible. M. Branly a montré que cette énergie pouvait être intense ; une batterie de plus de douze accumulateurs peut être mise en circuit avec fort radioconducteur ; par suite, le courant passe dans ce circuit d'une intensité nulle à une intensité de 15 à 20 ampères, quand le tube à limaille est devenu conducteur par l'influence d'une étincelle à distance.

En interposant un *électro-aimant à déclic* (formant un relais pour forts courants locaux) dans le circuit d'un de mes petits radioconducteurs Branly; il est possible de produire des *effets très puissants* dès qu'une étincelle jaillit à distance: le déclic aura fermé le circuit d'une forte batterie d'accumulateurs, le point de départ étant toujours une onde électrique transmise dans l'espace. C'est ainsi que je vais successivement produire devant vous:

1° L'incandescence d'un long fil métallique;

2° La mise en marche d'un moteur électrique puissant;

3° La mise en action d'un fort électro-aimant;

4° L'allumage d'une rampe de lampes à incandescence;

5° L'explosion d'une amorce de mine.

Par le jeu de *relais successifs*, des courants électriques énergiques peuvent être ainsi utilisés, suivant les circonstances et les effets à produire.

J'espère, Messieurs, vous avoir intéressés et vous avoir démontré que notre industrie scientifique française, en ce qui me concerne, *n'est pas tributaire* de l'industrie étrangère. J'ai tenu aussi à exclure de cette conférence toutes les expressions étrangères, notre langue française étant assez riche pour y trouver celles qui conviennent. Je vous remercie, Messieurs, de la bienveillante attention que vous avez bien voulu m'accorder, et je remercie mon ingénieur, M. Roger, de son concours pour la préparation des expériences que j'ai réalisées devant vous.

Sur le contrôle des appareils électriques industriels;

Par M. C. Camichel [1].

M. Camichel rappelle, au début de sa communication, les méthodes générales employées dans les étalonnages électriques.

On peut prendre, comme base de l'étalonnage, une force électromotrice comme celle d'un élément Latimer-Clark ou d'un élément Gouy, et une résistance préalablement comparée à l'ohm.

On peut aussi choisir comme bases une intensité et une résistance; par exemple, l'intensité est déterminée par l'électrodynamomètre de

---

(1) Séance du 16 avril 1898.

M. Pellat. Les ampères-étalons de M. Pellat, déterminés par comparaison avec l'électrodynamomètre, servent pour les mesures de grande précision. Pour mesurer l'intensité dans le cas d'opérations industrielles nécessitant une précision du $\frac{1}{100}$ ou $\frac{1}{200}$ environ, M. Camichel emploie un ampèremètre thermique.

Les appareils thermiques ont une sensibilité moindre que celle des autres appareils ; mais la constance de leurs indications est remarquable. Les méthodes thermiques peuvent être classées en deux catégories : celles qui sont fondées sur la dilatation et les méthodes calorimétriques.

La méthode par dilatation a été appliquée dans les voltmètres de Cardiew, de Hartmann et Braun, et dans le voltmètre thermique de M. Camichel.

Dans ce dernier appareil, le courant dérivé entre les deux points dont on veut mesurer la différence de potentiel traverse une fine colonne de mercure qui s'échauffe; sa dilatation mesure l'échauffement.

La méthode calorimétrique est préférable; si elle n'a pas été employée, cela tient à sa faible sensibilité. Deux précautions essentielles permettent d'accroître cette sensibilité : réduire au minimum la capacité calorifique du calorimètre, qui est ainsi ramené à un simple thermomètre, et ne pas attendre que l'équilibre de température soit atteint pour faire la mesure ; la méthode ne doit pas être une méthode statique.

Le thermomètre à gaz a été employé dans l'indicateur de Wright et dans une méthode indiquée par M. Camichel pour les mesures d'hystérésis (1).

Le thermomètre à liquide a été utilisé dans les deux modèles d'ampèremètre de M. Camichel (2).

Le modèle décrit en 1897 se compose d'un tube en U rempli de mercure ; l'une des branches est étirée légèrement dans sa région médiane m. Dans la partie étroite m on introduit un thermomètre à mercure dont le réservoir cylindrique a un diamètre peu différent du diamètre intérieur du tube en m. Deux électrodes en platine plongent

---

(1) *Comptes Rendus* du 12 juillet 1897.

(2) Modèle décrit en 1897. *Comptes Rendus*, 5 juillet 1897; Séance de la Société française de Physique du 2 juillet 1897 ; *l'Éclairage électrique*, t. XII, p. 385.

dans les deux branches du tube en U ; par ces électrodes entre et sort le courant à mesurer.

Le thermomètre est invariablement fixé aux parois du tube pour empêcher ces déplacements sous l'influence des chocs.

Le mercure employé doit être pur et sec et remplir la région entourant le réservoir thermométrique sans emprisonner de bulles d'air.

Il faut ajouter à l'appareil construit un chronomètre à seconde et un commutateur spécial à godets de mercure.

Pour faire une mesure, on attend que le mercure ait atteint dans toute sa masse une température uniforme et constante ; on lance alors le courant inconnu, le thermomètre monte ; au bout de trente secondes, on coupe le courant, on lit la température maxima indiquée par le thermomètre ; l'élévation de température θ ainsi constatée est notée, elle permet de calculer l'intensité du courant qui a traversé l'appareil.

Le fonctionnement de l'appareil est très simple. Quand le courant traverse le mercure, la chaleur dégagée est surtout localisée dans la partie étroite de la colonne de mercure, c'est-à-dire tout autour du réservoir thermométrique. Une portion de cette chaleur est perdue par conductibilité, par convection dans la masse de mercure du tube en U et par rayonnement à l'extérieur. Le reste de la chaleur est communiqué au réservoir du thermomètre.

L'appareil est étalonné préalablement par des déterminations électrolytiques au voltamètre à argent de Kohlrausch.

Le deuxième modèle se distingue en premier par sa plus grande sensibilité et son mode de construction qui le rend plus portatif. Le courant à mesurer pénètre dans le mercure par des fils de platine plongeant dans deux godets contenant du mercure pur et sec et communiquant à leur partie inférieure par un tube de verre étroit.

Tout autour de ce tube se trouve le réservoir thermométrique qui a une forme annulaire. Le courant traverse la mince colonne de mercure, la chaleur produite est communiquée au mercure du réservoir thermométrique et accusée par une élévation de température de θ degrés dans une minute. Dans cet appareil, l'élévation θ est reliée à l'intensité i du courant par la relation

$$\theta = ki^2,$$

si le refroidissement et la variation de résistance de l'appareil sont négligeables. Ces deux influences sont importantes. Dans l'appareil étudié elles se compensent rigoureusement pour les intensités à mesurer; mais il ne s'ensuit pas que cette compensation ait lieu dans les autres appareils construits sur ce modèle.

La nouvelle disposition atténue beaucoup le refroidissement; elle est mieux à l'abri des influences extérieures.

Ces ampèremètres donnent facilement les intensités voisines de 1 ampère au 1/200 par mesure faite avec une simple montre à secondes.

La chaleur développée se transmet immédiatement au réservoir thermométrique annulaire; l'observation directe le montre. L'élévation de température de la colonne intérieure correspondant au courant maximum ne dépasse pas 50°.

On peut réaliser un étalon de force électromotrice, mesurer des intensités et des différences de potentiel diverses.

Pour réaliser l'étalon de force électromotrice, un courant de 1 à 2 ampères traverse une résistance r égale à celle de l'ampèremètre (dans le cas présent 1,154 ohm à 13°,5).

Le courant circule ensuite dans une résistance R ($8^{ohms},900$ à 13°,5), dite résistance de compensation. Elle est destinée à rendre négligeables les variations de résistance intérieure de l'appareil. Quand on veut faire une mesure, un commutateur à bascule permet d'interrompre brusquement le courant dans la résistance r pour le faire passer dans l'ampèremètre. Au bout d'une minute, on rétablit l'état primitif.

Si r est bien réglée, le courant doit conserver la même valeur avant, pendant et après la mesure.

r et R sont des bandes de maillechort de 1 millimètre d'épaisseur sur 5 millimètres de largeur, immergées dans le pétrole.

L'élévation de température de la colonne mercurielle du thermomètre donne l'intensité; une multiplication donne la force électromotrice aux extrémités de R. En subdivisant R, on peut avoir une échelle de force électromotrice comprise entre 1 et 16 volts.

Si on veut étalonner un voltmètre quelconque, on change la résistance disposée en série avec ce voltmètre, et on peut, comme on fait d'habitude, passer à la mesure des forces électromotrices d'un autre ordre de grandeur.

L'ampèremètre thermique dont la résistance intérieure est $r + R$,

muni d'une série de shunts, permet de mesurer des courants de 1 à 1000 ampères.

Les avantages de la méthode sont la rapidité dans les mesures, la constance des indications de l'ampèremètre construit avec du cristal dur et qui ne paraît pas subir de modifications avec le temps, enfin l'absence de self-induction, condition précieuse pour la mesure des courants alternatifs.

Sur la transformation des rayons X;

Par M. D. Hurmuzescu [1].

M. Hurmuzescu rappelle les premières phases par lesquelles a passé la production des radiographies. Les tubes, au début, étaient trop mous, et le temps de pose nécessaire était, par suite, fort long; en même temps, les radiographies obtenues présentaient un caractère frappant de contraste. Avec des tubes plus durs, tels que ceux qui furent fabriqués ensuite, le temps de pose fut notablement diminué, mais les radiographies étaient voilées, elles n'avaient plus la même impression de contraste ; les rayons de ces tubes traversaient les os avec facilité.

Le voile des radiographies fut attribué à la grandeur de la source des rayons X, et l'on songea à limiter le faisceau agissant au moyen d'écrans métalliques. Avec des écrans de plomb, les résultats furent encore moins bons. La cause fut alors attribuée à la fluorescence; tous les corps frappés par les rayons X sont plus ou moins susceptibles de produire une luminescence capable d'impressionner la couche sensible ; ainsi le verre qui sert de support à la couche sensible produit une luminescence ; c'est ainsi que les métaux en contact avec la couche sensible ont produit des renforcements que l'on avait d'abord attribués à une réflexion des rayons X. Mais l'hypothèse d'une fluorescence devient insuffisante, si l'on remarque que, par l'interposition d'une feuille de papier ou d'aluminium entre la couche sensible et le métal, le renforcement, quoique affaibli, se produit encore.

La véritable cause est dans la transformation des rayons X, comme l'a montré M. Sagnac [2]. M. Hurmuzescu avait aussi obtenu

---

(1) Séance du 16 avril 1898.
(2) *L'Éclairage électrique*, t. XIV, p. 555; 1898.

des résultats analogues depuis le mois d'octobre dernier, en opérant de la façon suivante :

Le tube est enfermé dans une caisse métallique en plomb, percée d'une fenêtre ; un petit tube de plomb limite encore le faisceau qui vient frapper un électroscope. Pour obtenir les rayons transformés, la lame métallique est placée sur le trajet des rayons, tandis que l'électroscope est disposé de façon à n'être plus rencontré par les rayons X directs, mais par les rayons transformés. La feuille de l'électroscope se place devant une graduation, et l'on note le temps nécessaire au passage de la feuille devant deux positions fixes. Les résultats ne diffèrent de ceux qui ont été obtenus par M. Sagnac que par la valeur du rapport de transformation, et cela tient sans doute aux tubes utilisés ; ainsi le rapport pour le zinc et l'aluminium est $\frac{15}{25}$ pour le zinc et la paraffine $\frac{15}{36}$.

Les rayons transformés, secondaires, tertiaires et autres (M. Hurmuzescu a été jusqu'à cinq transformations sur le zinc) sont beaucoup plus absorbables que les rayons X par les milieux où ils se propagent ; ils se rapprochent aussi des rayons ultra-violets ou plutôt des rayons cathodiques. De sorte que le cycle semble se fermer ; les rayons cathodiques donnent naissance à des rayons X, et ceux-ci se transforment en rayons assez voisins des rayons cathodiques.

Le pouvoir de charge et l'action photographique varient dans le même rapport.

M. Hurmuzescu rapporte ensuite quelques expériences intéressantes qu'il a faites et qui confirment encore les idées précédentes.

Sur une plaque de verre 13 × 18, sont placées quatre lames métalliques : deux de cuivre rouge d'épaisseur différente, une de zinc et une d'aluminium, épaisses de 1 millimètre, présentant deux trous circulaires aux extrémités pour servir de témoins. Au-dessus de ce système est la plaque sensible, la pellicule en contact avec les surfaces métalliques. Le tout est enveloppé de papier noir, et les rayons X arrivent par dessus. En faisant agir pendant deux secondes au plus, on constate, après développement, que les parties en contact avec les métaux sont plus fortement impressionnées, par suite des rayons secondaires émis par les lames métalliques. L'intensité varie avec la nature du métal ; elle est plus forte avec le zinc et plus faible avec l'aluminium.

Le même système est ensuite enveloppé par une feuille de plomb de

3,5 millimètres d'épaisseur, dont les bords sont rabattus. Après une pose de trois à quatre minutes et demie, on développe et on trouve une impression nette sur toutes les parties de la plaque qui ne sont pas en contact avec les métaux ; les rayons transformés traversent donc moins facilement les parties métalliques ; le zinc est le plus opaque ; les trous circulaires ont laissé passer les rayons, et l'impression y est assez forte. Ces expériences, répétées de différentes façons, ont donné des résultats concordants. Ces résultats étaient d'ailleurs inattendus ; on ne pouvait supposer que les rayons avaient traversé directement la masse de plomb, car on aurait eu renforcement par les métaux.

M. Hurmuzescu a fait alors l'expérience suivante : Les lames métalliques sont remplacées par une lame de zinc de dimension 13 × 13, percée de trous circulaires également espacés sur cinq rangées. En opérant comme dans la première expérience, le métal produit un renforcement, les trous apparaissent sombres sur le cliché positif. Si ensuite le système est recouvert de plomb, c'est le contraire qui a lieu, les trous circulaires sont plus impressionnés que les parties avoisinantes et apparaissent en clair sur le positif ; l'impression est plus forte sur les trous disposés près du bord de la plaque et le contour est plus net, tandis qu'au centre l'impression est moindre et les bords présentent des ombres portées en tous sens. Il en résulte que les rayons qui ont produit l'impression de la plaque viennent de la partie inférieure et des bords de plomb.

Le même système, toujours enveloppé de papier noir, a été enfermé dans une cuve plate en plomb de 2,5 millimètres ; le couvercle était double et maintenu par du mastic de Golaz. Après une pose de cinq minutes environ et développement, les images des trous étaient tantôt en clair, tantôt en noir, suivant que les rayons qui impressionnaient la plaque venaient par en bas ou par en haut. Au moyen d'écrans opaques, tels que des feuilles de platine, on détermine l'endroit d'où proviennent les rayons ; d'une manière générale, ils provenaient des côtés de la plaque, des parois verticales où l'épaisseur avait été diminuée à la lime par l'ouvrier qui avait fait les soudures. Les rayons agissants sont donc des rayons transformés sur la face intérieure ; là où l'épaisseur est moindre, leur intensité est plus grande et détermine l'impression.

Il y a lieu de se demander si l'on ne pourrait expliquer, grâce à ces résultats, les phénomènes dus à la soi-disant lumière noire.

Si l'on revient à l'examen de radiographies obtenues avec des écrans de plomb, les anomalies présentées s'expliquent aisément. Les rayons transformés par le plomb de l'écran, au lieu de diminuer la surface d'émission, produisaient d'autres centres actifs, lorsque l'écran était tout près de la plaque photographique.

Il ne semble pas que l'on soit encore en mesure d'expliquer la cause de la décharge par les rayons X et les divers rayons transformés. MM. Benoist et Hurmuzescu avaient pensé, à la suite d'expériences faites en mars 1896, que la convection moléculaire peut intervenir d'une manière importante pour la décharge dans les gaz. Les expériences qui servaient de base à cette hypothèse étaient les suivantes : En cherchant à obtenir la décharge dans le vide, toutes les fois qu'on arrive à un potentiel déterminé, l'électroscope se décharge brusquement ; ces potentiels minima dépendent de la pression ; lorsque celle-ci diminue, les molécules de gaz emprisonnées dans le métal se dégagent, et, emportant les décharges électriques, produisent la décharge. Ces potentiels minima dépendent du gaz, c'est-à-dire du résidu condensé [1].

Mais, lorsque le corps changé est dans un diélectrique liquide ou solide, la décharge par les rayons X se produit tout de même ; la convection ne suffit donc pas pour expliquer le phénomène ; elle peut contribuer à la décharge dans les cas des gaz ; mais il faut plutôt penser à une propriété nouvelle que le corps aurait acquise sous l'influence des rayons X, une propriété de conductibilité électrique. On connaît, d'ailleurs, des phénomènes analogues : l'air chauffé devient conducteur et garde cette propriété, même lorsqu'il est revenu à la température ambiante.

M. Hurmuzescu termine en ajoutant qu'il ne faut pas encore insister sur les hypothèses, et que, au point de vue expérimental, beaucoup de points sont encore à élucider. Il n'y a pas non plus lieu de se presser de croire à une ionisation.

---

[1] Les recherches relatives à ce sujet seront publiées plus tard.

Sur les rayons cathodiques;

Par M. P. Villard [1]

I

Il suffit de faire le vide dans un tube de Crookes à peu près quelconque, un focus par exemple, pour remarquer les deux phénomènes suivants, aujourd'hui bien connus : quand le degré de vide s'élève, le faisceau cathodique, qui partait d'abord de toute la surface de la cathode, se resserre peu à peu jusqu'à n'être plus qu'un mince filet axial au moment où apparaissent les rayons X. En second lieu la résistance du tube, mesurée par l'étincelle équivalente, augmente en même temps que le faisceau se réduit. Cette résistance semble d'ailleurs dépendre d'une foule de conditions: diamètre du tube, degré de vide, forme et position des électrodes, etc.

Il est facile de s'assurer que ces deux phénomènes sont corrélatifs, et que la résistance, mesurée comme il est dit plus haut, dépend uniquement de la section à l'origine du faisceau cathodique.

Soient, par exemple, les tubes représentés en coupe (*fig.* 1) ; supposons le vide assez avancé pour que tous donnent des rayons cathodiques visibles : A étant d'abord anode, si C_1 est cathode, on a un faisceau large, et la résistance est de quelques millimètres d'étincelle. En C_2 ou C_2' ou C_3 le faisceau sera beaucoup plus étroit, et la résistance sensiblement plus forte ; en C_4 elle sera considérable, mais il n'y aura plus qu'un filet cathodique à peine visible ; de même en C_5, bien que le tube soit large. En C_6, au contraire, la résistance est minime, mais la surface d'émission est notable ; toute la surface du fil est active.

Réunissons en quantité C_2 et C'_2 ; la section radiante est doublée, l'étincelle équivalente est notablement réduite.

Au contraire, l'introduction d'un diaphragme disposé comme en C_5 réduit le faisceau cathodique au même diamètre qu'en C_4, et la résistance est la même.

Le diamètre de la cathode importe, au contraire, fort peu, pourvu qu'il soit supérieur à celui du faisceau émis, dans les mêmes condi-

---

[1] Séances des 21 janvier, 4 mars et 20 mai 1898.

tions, par une cathode aussi large que le tube. Il convient seulement de protéger par du verre la face postérieure des cathodes étroites, sans quoi celle-ci émettrait également des rayons, et la surface active serait doublée (*fig.* 1, C_3).

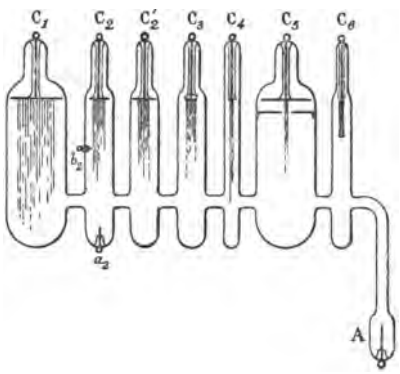

Fig. 1.

On peut faire varier autrement le diamètre de la région d'émission. Laissons C_2 en activité, par exemple, et transportons successivement l'anode de A en a_2 et b_2. Chaque fois le faisceau cathodique se resserre, et la résistance augmente.

Le même résultat s'obtient encore, comme on le sait, en poussant plus loin la raréfaction.

Il est certain que l'action des parois doit jouer un rôle prépondérant dans ces phénomènes. En effet, la région d'émission tend à se centrer sur le tube, si celui-ci est de révolution ; dans ce cas, elle est circulaire. D'une manière générale, elle possède toujours la même symétrie que le tube et subit le contre-coup de toute déformation des parois. Par exemple, dans un focus à anticathode inclinée, la région radiante présente, dans le plan de symétrie de l'appareil, un allongement unilatéral plus ou moins marqué, suivant la distance et les dimensions de l'anticathode. Au contraire, un décentrage notable de la cathode est à peu près sans effet, si celle-ci est un peu large (*fig.* 2, C et C′) ; il l'est tout à fait dans le cas représenté en C″. Enfin, si l'on met en avant de la cathode un diaphragme présentant un trou excentré (*fig.* 2, C‴), c'est en face du centre du trou que les rayons cathodiques se forment.

Cette action des parois est évidemment d'ordre électrique. Cela

est manifeste dans le cas où le resserrement du faisceau s'obtient en rapprochant l'anode de la cathode. Or on sait, par les travaux de Crookes, que, dans les tubes à rayons cathodiques, les parois sont chargées positivement, d'autant plus fortement que le vide est poussé plus loin, et jusque tout près de la cathode. On verra plus loin que cela suffit pour expliquer les faits observés. Il est auparavant nécessaire d'insister sur cet important phénomène.

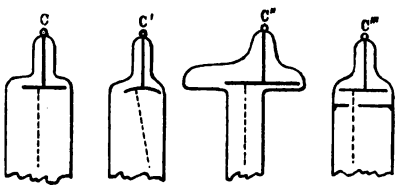

Fig. 2.

Soit un tube quelconque, analogue aux focus par exemple, muni d'une électrode auxiliaire placée au-devant de la cathode, à quelques millimètres de celle-ci. Dès qu'on arrive à une résistance notable, correspondant à 7 ou 8 centimètres d'étincelle, l'électrode auxiliaire et l'anode sont presque au même potentiel. Entre elles ne peut se produire qu'une étincelle grêle de quelques millimètres, tandis qu'entre l'électrode auxiliaire et la cathode on a la presque totalité de l'étincelle équivalente. Pour cette raison, on est obligé de laisser une distance assez grande entre la cathode et le point de sortie du fil conducteur qui la porte ; sans cette précaution, des étincelles partant de ce fil iraient percer le verre en avant de la cathode.

Quand le vide est tel que le courant ne passe plus, tout le tube est au potentiel de l'anode.

La presque totalité de la chute de potentiel se fait donc près de l'électrode négative; plus loin le champ intérieur est très faible. On peut aisément le vérifier comme il suit : On prépare un tube de Crookes cylindrique avec un tube de verre présentant des stries longitudinales qui ne sont autre chose que des bulles étirées. Dans ce tube on dispose, aux deux bouts, des électrodes planes identiques, puis on l'excite par le courant intermittent d'une bobine de Ruhmkorff. Sous l'influence du champ intérieur variable, les stries s'illuminent en traits de feu, mais seulement près de la cathode, jamais vers l'anode.

Un tube de Crookes, dont on fait croître la résistance, tend vers un état dans lequel la distribution électrique serait la même que sur un conducteur ; à l'intérieur, le champ tend à devenir nul et les parois constituent un écran électrique imparfait.

On explique ainsi l'expérience suivante, due à Jaumann [1] : Si on approche rapidement d'un tube de Crookes en activité un bâton de verre électrisé, les rayons cathodiques sont déviés, puis reprennent leur direction première dès que le mouvement s'arrête. Sous l'influence d'une charge extérieure la distribution électrique se modifie dans le tube de manière à maintenir très faible le champ intérieur ; mais ce phénomène n'est pas assez rapide pour contrebalancer l'action variable d'une charge en mouvement.

Inversement on pourra faire varier la résistance d'un tube de Crookes en modifiant la distribution des potentiels à son intérieur ; disposant, par exemple, un peu en avant de la cathode, un anneau métallique parallèle à celle-ci, et reliant cet anneau à l'anode, on réalise la même distribution que dans un tube résistant, et la résistance s'élève. Si, au contraire, on dérive sur cet anneau, sous forme d'aigrette, une partie de l'électricité négative qui arrive à la cathode, on abaisse le potentiel au-devant de celle-ci, et la résistance du tube diminue. J'ai utilisé ce phénomène pour obtenir des tubes focus à résistance variable.

C'est bien à l'électrisation des parois qu'il convient d'attribuer le resserrement du faisceau cathodique et sa tendance à se centrer sur le tube. On peut en effet vérifier directement qu'une charge positive repousse la région d'émission cathodique et la déplace sur la cathode. Une charge négative produit l'effet inverse [2]. Il suffit, pour constater le fait, de relier à une source électrique (par exemple à un pôle de la bobine actionnant le tube, avec intercalation d'une étincelle pour faire varier le potentiel) une électrode disposée en avant de la cathode ; cette électrode agit d'ailleurs, même si elle est isolée, car elle fait partie de la paroi. On peut également approcher du tube une lame métallique reliée à un des pôles de la bobine, mais on ne réussit que si le tube est peu résistant, autrement le phénomène de l'écran se produit et, de plus, on s'expose à percer le verre.

Afflux cathodique. — L'électrisation négative des rayons catho-

---

(1) *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, t. CXXII, p. 989; 1896.

(2) Ce déplacement a été signalé par Wiedemann et Schmidt.

diques ne rend évidemment pas compte des résultats précédents ; on les explique, au contraire, facilement, en admettant que l'émission cathodique est alimentée par un afflux de matière chargée positivement, provenant des diverses parties du tube, ou au moins de celles qui sont comprises dans l'espace obscur.

Cet *afflux cathodique*, repoussé par les parois, se centre sur le tube, si celui-ci est de révolution, ou, plus généralement, en reflète la symétrie. Sa presque totalité, exception faite de ce qui provient des régions très voisines de la cathode, constitue un courant central d'autant plus resserré que le tube est plus étroit et l'électrisation des parois plus forte, et peu sensible à un décentrage notable de la cathode. De là, l'existence d'un faisceau cathodique principal central, plus ou moins étroit, suivant que l'afflux est plus ou moins resserré, dont la région de départ n'est autre que celle d'arrivée de l'afflux et se déplace avec celui-ci.

L'afflux cathodique est d'ailleurs aisément visible sous l'aspect d'une gerbe rose violacé qui semble implantée sur la cathode. Presque confondue avec le faisceau cathodique dans le cas d'un tube cylindrique à cathode centrée, elle s'en distingue nettement, si on incline celle-ci, ou encore si le tube s'élargit rapidement en avant de la cathode. Peu sensible aux actions magnétiques, l'afflux constitue, en apparence, une partie non déviable à l'aimant des rayons cathodiques.

Les expériences suivantes mettent bien en évidence l'existence de ce courant matériel :

Un tube cylindrique T (*fig.* 3) de 50 millimètres de diamètre est muni d'une cathode plane de 48 millimètres de diamètre, C. A 15 millimètres en avant est un diaphragme métallique, D, percé de deux ouvertures *a* et *b* et relié à un fil de platine, *d*, qui sort du tube. E est une électrode mobile dans une coulisse ; il suffit d'incliner le tube dans un sens ou dans l'autre pour la faire mouvoir. En A et A′ sont des électrodes fixes, A étant généralement anode.

Faisons progressivement le vide dans l'appareil ; tant que la limite de l'espace obscur est comprise entre C et D, tout se passe comme si le diaphragme n'existait pas. Dès que cette limite a dépassé D, l'émission devient plus intense en face de *a* et *b*. Continuant à faire le vide, et les choses étant disposées comme l'indique la *fig.* 3 en I, deux faisceaux cathodiques intenses se forment suivant les axes des trous *a* et *b*, le reste de la cathode n'émettant presque rien.

Comparons avec ce qui se passerait en l'absence de diaphragme, à égalité de résistance : on aurait un faisceau cathodique central allant frapper le verre en *f*, déterminant en ce point une vive fluorescence et une élévation de température capable de fondre rapidement la paroi, mais en ce point seulement. Dans le cas présent, c'est en *f'* et *f''* que le verre est plus fluorescent et menacé de fondre.

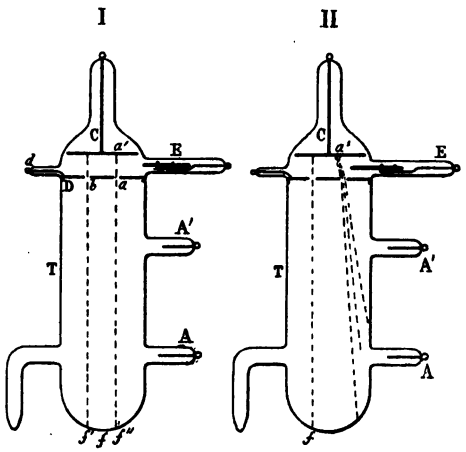

Fig. 3.

On ne saurait objecter qu'ici le faisceau cathodique, encore très large, a été diaphragmé à la manière d'un faisceau lumineux parallèle; si, en effet, on place le diaphragme loin de la cathode, à 20 centimètres par exemple, il n'y a naturellement illumination du verre qu'en face des trous du diaphragme; mais en ces points le verre n'est ni plus lumineux, ni plus chaud que si le diaphragme n'existait pas; c'est précisément le contraire qui a lieu ici. De plus, si le diaphragme est loin de la cathode, la région radiante de celle-ci est circulaire et se réduit à un point central quand le vide est suffisamment poussé. Dans le cas de la figure il y a, au contraire, deux points radiants distincts bien visibles; on a non pas un, mais deux tubes de Crookes dans une même enveloppe.

Il est tout naturel d'admettre que l'afflux cathodique, partant des régions comprises dans l'espace obscur, ne peut arriver à la cathode qu'en passant par les trous *a* et *b* du diaphragme, ou plutôt par les

centres de ces trous dont les bords le repoussent [1]. De là les deux points radiants observés ; le reste de la cathode, alimenté par l'espace CD seulement, n'émettant presque rien, et d'*autant moins que la distance* CD *est plus petite.*

Le phénomène reste qualitativement le même, si D est relié à l'anode; mais il est moins marqué : dans ce cas, en effet, l'espace situé au-dessous de CD forme cage de Faraday, et un très petit nombre de lignes de force émanant de la cathode peuvent passer par *a* et *b*. Aussi l'émission est-elle moindre et la résistance plus considérable.

Relions maintenant l'électrode E à une source électrique [2], et élevons son potentiel, puis faisons-la avancer comme l'indique la *fig.* 3 en II. Aussitôt le point radiant *a'* se déplace, l'afflux s'incurve fortement; il s'affaiblit en même temps, repoussé par ce nouvel obstacle, qui gêne son arrivée au travers de l'ouverture *a*. En même temps le faisceau cathodique est attiré par l'électrode et dispersé dans le plan de la figure. Mais il est moins dévié que l'afflux.

Le résultat est inverse, si on abaisse le potentiel de l'électrode E. Si celle-ci est isolée, elle agit comme une charge positive; elle fait en effet partie de la paroi.

Dans ces expériences, le second faisceau passant par *b* reste fixe et sert d'objet de comparaison.

L'appareil représenté *fig.* 3 (I) permet de vérifier en même temps que deux courants d'afflux ne se repoussent pas.

Ces phénomènes sont aisément visibles, et cette visibilité peut être encore augmentée en faisant le vide sur de l'oxygène pur. L'espace obscur est alors remarquablement sombre, et l'afflux y est plus facile à voir; au-delà de cet espace, les trajectoires des rayons cathodiques sont très apparentes et se détachent nettement en jaune. Mais il est encore préférable de photographier le tube en activité, la lumière violacée émise par les points radiants étant très photogénique.

---

(1) Ce phénomène n'ayant lieu qu'à partir du moment où le diaphragme est à l'intérieur de l'espace obscur, on en conclut que l'afflux n'existe que dans cet espace, ce qui est confirmé par le résultat obtenu dans la première partie de l'expérience.

(2) Il est commode de faire varier le potentiel de l'électrode en prenant comme source électrique le tube lui-même, dans lequel, pendant chaque décharge de la bobine excitatrice, le potentiel est croissant de C à A ; reliant par exemple E à *d*, ou A', ou A, on en élève le potentiel de plus en plus ; on abaissera, au contraire, celui-ci en dérivant sur E, sous forme d'aigrette, une partie du courant passant dans le rhéophore qui aboutit à la cathode.

On peut donner à l'expérience précédente diverses formes conduisant, par exemple, aux résultats représentés *fig.* 4. Le premier tube est à cathode cylindrique; le second, à cathode plane, porte une électrode auxiliaire perpendiculaire au plan de la figure et placée au-dessus de l'ouverture *a*. Dans ce cas, l'afflux se divise en deux courants divergents donnant deux points radiants *a'*, *a''*, qui s'éloignent ou se rapprochent l'un de l'autre, suivant que le potentiel de E s'élève ou s'abaisse. Cette expérience est semblable à celle que M. J. Perrin a réalisée avec les rayons cathodiques [1].

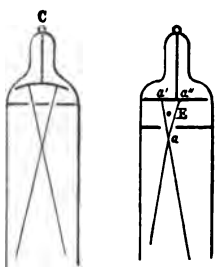

Fig. 4.

Les résultats précédents établissent, en dehors de toute hypothèse, que les rayons cathodiques se forment là seulement où ils ont devant eux un espace suffisant. Pour montrer que la présence d'obstacles agit non pas sur le rayon lui-même, mais sur le courant qui l'alimente, il suffit de reprendre l'un des tubes précédents, le premier par exemple, et, à l'aide d'un aimant, de dévier les deux faisceaux cathodiques jusqu'à leur faire rencontrer le diaphragme. On voit alors se produire sur celui-ci deux petites taches fluorescentes, si le métal est un peu oxydé. Ce n'est donc pas sur les rayons cathodiques eux-mêmes que l'obstacle exerce son action. Quant à l'afflux, il est à peine dévié, et les points radiants restent à peu près fixes.

Cette dernière expérience permet de faire une observation relative à la circulation du gaz dans un tube de Crookes. Dans l'appareil précédent, ou mieux dans un tube analogue, mais plus étroit, dévions les faisceaux cathodiques, au moyen d'un aimant, jusqu'à les amener loin des trous du diaphragme, et jusque sur la paroi de verre, où

[1] L'expérience en question se trouve être réalisée en même temps, l'électrode E étant électrisée.

leurs points d'impact sont plus aisés à reconnaître. Nous constaterons alors qu'un nouvel afflux se forme et arrive à la cathode en face de chacun de ces points d'impact, comme partant de chacun de ces points. Un tube de Crookes complet a été créé dans le tube principal, et son anode est le diaphragme lui-même.

En même temps l'afflux passant par les trous s'affaiblit notablement dès que les faisceaux cathodiques correspondants ne traversent plus le diaphragme. Ces deux courants gazeux, afflux et rayons, sont donc bien dépendants l'un de l'autre.

De tout ce qui précède, il semble résulter que le rôle des électrodes se borne à établir dans le tube une distribution particulière des potentiels, de laquelle résulte une circulation régulière du gaz, sous la double forme d'afflux et de rayons cathodiques, circulation comparable à celle qui se produit entre la chaudière et le condenseur d'une machine à vapeur. On est ainsi conduit à réaliser l'expérience suivante : Dans un tube de Crookes, cylindrique par exemple et à cathode centrée, plane ou concave, remplaçons la partie centrale de la cathode par une lame de verre ; on pourrait croire que l'émission cathodique sera ainsi singulièrement modifiée ; il n'en est rien : en faisant progressivement le vide, on observe encore la formation d'un faisceau cathodique principal central, qui se réduit finalement à un filet axial *partant du centre de la lame de verre*, où, par raison de symétrie, doit arriver l'afflux ; une anticathode de focus, placée sur le trajet de ce faisceau central comme à l'ordinaire, est portée rapidement au rouge et, à un vide convenable, émet abondamment des rayons X. Dans cette expérience, on pourrait supposer que la lame de verre fixée à la cathode se comporte un peu comme un métal et que la région radiante est mal isolée. Mais le résultat est le même, si on forme la cathode de deux pièces séparées par un espace vide, l'une annulaire qui sera reliée au pôle négatif de la bobine excitatrice, l'autre centrale soutenue par une longue tige de cristal se soudant à la paroi en un point très éloigné du point d'insertion de la cathode annulaire.

L'hypothèse de l'afflux conduit à deux conséquences faciles à vérifier :

En arrivant à la cathode, l'afflux s'arrête, et il doit y avoir production de chaleur, comme sur les obstacles frappés par les rayons cathodiques. Et en effet, si la cathode est formée d'une lame métallique mince, une lame de platine par exemple, elle est portée au

rouge vif aux points radiants, où est supposé arriver l'afflux. Si le centre de la cathode est en verre, celui-ci est rapidement fondu. On a ainsi l'explication de ce fait fréquemment observé, que, dans un tube de Geissler, le fil qui est pris comme cathode peut être porté au rouge vif, s'il est de faible diamètre, rien de semblable ne se produisant à l'anode (exception faite du cas où les deux courants de la bobine passent).

La seconde conséquence est la suivante : Si la cathode d'un tube de Crookes est perforée en un point frappé par l'afflux cathodique, celui-ci doit, au moins en partie, continuer sa route en vertu de la vitesse acquise ; cela est facile à vérifier.

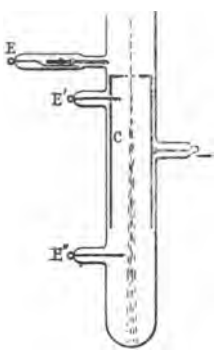

Fig. 5.

Suivant une disposition décrite par M. J. Perrin [1], prenons comme cathode un cylindre métallique C remplissant exactement le tube de verre (*fig.* 5) et fermé à son extrémité antérieure par un disque en métal dont la partie centrale sera perforée, ou, ce qui est ici préférable, remplacée par une toile métallique très fine. Au-devant de cette cathode disposons une électrode à coulisse E. Le vide étant fait de manière à réduire le faisceau cathodique à un mince filet, on observe sur le prolongement de l'afflux, dans la cathode, une traînée lumineuse formant un cône peu divergent. Aux points où ce cône rencontre le verre, il y a production de chaleur et apparition d'une lumière jaune, qui n'est autre que la lumière

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XI, p. 503 ; — *Comptes Rendus*, t. CXXI, p. 1130 ; 1895.

du sodium ; il n'y a pas fluorescence du verre, mais émission de vapeur de sodium comme au contact d'une flamme.

Si maintenant nous dévions l'afflux au moyen de l'électrode E, le faisceau dont il s'agit se déplace et s'incline de manière à prolonger toujours exactement l'afflux, restant d'ailleurs rectiligne dans son ensemble. Un aimant est, au contraire, sans influence sensible ; or on a vu précisément que l'afflux est à peine influencé par un champ magnétique.

Le faisceau continuateur de l'afflux n'est plus électrisé ; une électrode E′ ou E″ est sur lui sans action ; de même, un aimant. On est en présence des *Kanalstrahlen* de Goldstein.

Pour montrer que cette affirmation est fondée, il suffit d'établir qu'il n'existe pas, sur le prolongement de l'afflux cathodique, de courant matériel chargé positivement et invisible ou confondu en apparence avec les rayons de Goldstein.

Remplaçons, dans l'expérience précédente, la toile métallique par une lame, métallique aussi, percée d'une petite ouverture O ($0^{mm},2$), placée au point d'impact de l'afflux. En arrière, disposons, à 10 millimètres environ, un diaphragme D présentant une ouverture centrale de 3 millimètres, puis plus loin un cylindre de Faraday F, relié à un électroscope, par un fil entouré d'une cage de Faraday (*fig.* 6).

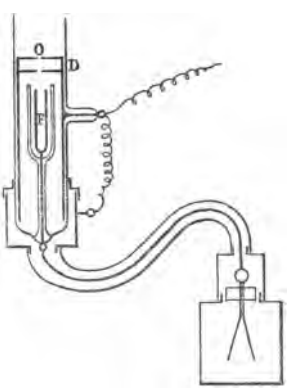

Fig. 6.

La cathode et la cage de Faraday étant au sol, et le vide étant poussé au point convenable, faisons passer le courant ; les feuilles d'or de l'électroscope restent immobiles, même si on agrandit un

peu l'ouverture O. Cependant une lame mince de verre, mise à la place du cylindre de Faraday, peut être fondue dans ces conditions.

L'afflux positif a donc perdu sa charge, en pénétrant dans la cathode, et on est fondé à admettre que les rayons de Goldstein en sont bien le prolongement [1].

Les phénomènes de Crookes apparaissent ainsi comme étant le résultat d'une circulation gazeuse régulière, intéressant d'abord tout l'espace obscur, et finalement tout le tube, quand le vide est poussé assez loin. Le passage du courant électrique se faisant par l'intermédiaire de l'afflux cathodique comme par un conducteur, c'est de la section de cet afflux, et par suite de la section d'émission cathodique, que dépend la résistance du tube et, pour une source électrique donnée, la différence de potentiel entre les électrodes. Mais il ne saurait être question d'un degré de vide convenant au phénomène de Geissler, et d'un autre permettant la production des rayons cathodiques. On sait que M. Röntgen a obtenu des rayons X, donc des rayons cathodiques, à une pression relativement considérable, dans des tubes étroits où l'afflux était rapidement réduit à une section suffisamment faible. Inversement on peut observer le phénomène de Geissler à un degré de vide à peine mesurable. Disposant une cathode dans un tube cylindrique et une anode de diamètre un peu supérieur, dans un vaste renflement du tube, on constate, si le vide est suffisamment poussé, que le courant direct d'une bobine de Ruhmkorff refuse de passer dans l'appareil, et des étincelles de 20 centimètres éclatent au dehors: c'est le vide de Hittorf. Mais, par contre, le courant inverse passe et donne avec éclat le phénomène de Geissler.

II

Émission. — Lorsqu'on diminue progressivement la pression dans un tube de Crookes, l'afflux cathodique, au début de son

---

[1] Dans cette expérience l'électroscope se charge toujours positivement *quelques instants après que le courant a cessé de passer;* la divergence des feuilles augmente lentement pendant plusieurs minutes jusqu'à atteindre 200 à 300 volts. Il s'agit évidemment de la pénétration, par diffusion, de particules gazeuses électrisées aux dépens de la charge positive résiduelle des parois du tube.

apparition, qui coïncide avec celle de l'espace obscur, couvre la cathode à peu près uniformément. Supposons d'abord celle-ci plane et centrée sur un tube d'un diamètre à peine supérieur au sien, cylindrique par exemple ; si l'on continue à faire le vide, l'espace obscur s'agrandit, l'afflux parcourt un trajet de plus en plus long, et l'action répulsive des parois intervient.

La partie extérieure du courant gazeux est repoussée vers les régions centrales ; la densité du cylindre d'afflux augmente par suite à la périphérie, et le cercle d'impact sur la cathode présente alors une région centrale uniforme bordée d'un anneau plus lumineux. La photographie rend le phénomène très manifeste. A un vide plus avancé, les bords intérieurs de l'anneau se rejoignent, et l'uniformité se rétablit. Pendant toute cette évolution, la distance qui sépare le cylindre d'afflux de la paroi est, à une pression donnée, la même dans des tubes de divers diamètres, pourvu que l'anode soit éloignée. Ceci montre bien que le resserrement de l'afflux est dû à l'action des parois. La pression diminuant encore, le courant gazeux dont il s'agit se réduit peu à peu jusqu'à n'être plus qu'un filet de diamètre insensible et de moins en moins visible.

Le faisceau cathodique principal est, dans ces conditions, un cylindre plein, ayant pour base le cercle d'impact de l'afflux et présentant comme lui une condensation périphérique.

Au début de cette expérience, et tant que le cercle d'impact de l'afflux cathodique a un diamètre supérieur à 4 millimètres ou 5 millimètres, la section affectée au passage de l'électricité, ou, si l'on veut, le débit électrique, sont suffisants pour que la différence de potentiel entre les électrodes soit faible et ne dépasse pas 15.000 à 20.000 volts, variant d'ailleurs fort peu avec la pression. Les rayons cathodiques sont nombreux, et leur énergie spécifique faible. A mesure que le cylindre d'afflux se resserre, une même diminution de diamètre réduit sa section dans une proportion croissante, et, quand ce diamètre n'est plus que de 1 millimètre environ, le passage de quelques centimètres cubes de mercure dans la trompe peut faire doubler la longueur de l'étincelle équivalente qui mesure la résistance du tube. L'énergie spécifique des rayons cathodiques augmente rapidement, et, à un certain moment, l'énergie totale du faisceau atteint un maximum se traduisant par une plus vive incandescence d'une lame de platine exposée au choc cathodique. Le maximum de production des rayons X, lié probablement à ce qu'on

pourrait appeler l'*éclat cathodique*, n'a généralement lieu que plus tard [1].

Finalement l'afflux cathodique se réduit à zéro, l'émission cesse, et le courant électrique ne passe plus.

Ce qui précède est vrai d'une manière générale pour une cathode quelconque, les points d'émission étant seulement répartis différemment.

Si la cathode est fortement convexe, la convergence qu'elle imprime aux lignes de force est cause que l'afflux est plus dense à son centre qu'à sa périphérie ; il en est de même du faisceau cathodique.

Le cas d'une cathode concave sphérique est plus intéressant, cette forme étant couramment employée.

Dès que l'espace obscur s'agrandit sensiblement, et que sa limite s'éloigne de l'électrode à une distance à peu près égale à son diamètre, l'afflux cathodique, tendant à arriver normalement à la surface de la cathode, en abandonne presque complètement la partie centrale. Attiré par le pourtour saillant de l'électrode et repoussé par les parois, il couvre seulement un anneau d'autant plus délié que la concavité est plus prononcée, et qui se resserre quand la pression diminue. On fait à volonté varier le diamètre de cet anneau en chargeant positivement une électrode auxiliaire passant dans un trou percé au centre de la cathode et dépassant celle-ci de 1 millimètre environ.

L'émission cathodique est ainsi localisée presque complètement sur une zone, et le faisceau est un cône creux à parois plus ou moins épaisses. Ce phénomène, observé par M. Swinton [2], s'explique donc sans difficulté. La section radiante étant, toutes choses égales d'ail-

---

(1) L'énergie spécifique nécessaire à l'obtention des rayons X peut être obtenue sans pousser le vide jusqu'à avoir un faisceau réduit: à un vide peu avancé, on a souvent constaté que l'intercalation d'une étincelle dans le circuit suffit pour cela. L'explication de ce fait est simple : si, par exemple l'étincelle éclate du côté cathode, celle-ci, primitivement presque au même potentiel que l'anode, est brusquement portée à un potentiel très différent. L'émission cathodique a lieu encore par les mêmes points; mais elle est moindre, et l'énergie spécifique des rayons augmente. Avec l'appareil Tesla, le résultat est encore plus net, et on peut arriver à supprimer complètement le faisceau central, la circulation gazeuse n'ayant pas le temps de s'établir ; l'émission est très faible, et on obtient des rayons X à des pressions relativement considérables aussi bien qu'à un vide très avancé.

(2) *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. LXI, n° 370, p. 79.

leurs, moindre qu'avec une cathode plane, la résistance est un peu plus forte.

A un degré de vide suffisant, variable, comme je l'ai montré, avec la forme et surtout le diamètre des tubes, le faisceau cathodique, qu'il provienne d'une cathode plane, convexe ou concave, se réduit à un pinceau très fin. Celui-ci est toujours normal, au point de départ, à la surface d'émission. Ceci se vérifie aisément avec une cathode sphérique décentrée : le faisceau part du point de l'électrode situé

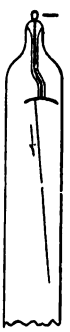

Fig. 1.

Fig. 2.

sur l'axe du tube et normalement à celle-ci (*fig.* 1). De même avec une cathode courbe, sphérique ou cylindrique, au-devant de laquelle, à 10 millimètres ou 15 millimètres environ, on dispose un diaphragme présentant deux ou trois ouvertures qui délimitent autant de courants d'afflux, déterminant la production de faisceaux cathodiques correspondants (*fig.* 2); les rayons émis s'infléchissent ensuite sous l'action répulsive de la cathode.

Propagation. — *Deux faisceaux cathodiques sont sans action mutuelle appréciable.* — Cette question, très controversée, paraît résolue par les expériences suivantes :

1° La disposition déjà décrite [1] d'une cathode plane, de 4 à 5 centimètres de diamètre, précédée, à 10 ou 15 millimètres, d'un diaphragme métallique percé de deux ouvertures, permet d'avoir deux faisceaux cathodiques parallèles et étroits, passant par les centres des trous et se propageant dans un espace suffisamment protégé au point de vue électrique. On peut d'ailleurs, au moyen

---

[1] Voir p. 73.

d'un large tube en toile métallique fixé au diaphragme, réaliser une véritable cage de Faraday. Dans ces conditions, les deux faisceaux cathodiques, même rapprochés à 8 millimètres l'un de l'autre, restent parallèles sur tout leur trajet, lequel est très visible si le vide est fait sur l'oxygène pur. L'emploi de la cage de Faraday ne change rien à ce résultat. On doit seulement prendre la précaution, si on rapproche les ouvertures, d'en réduire en même temps le diamètre. On évite ainsi que la cathode n'agisse obliquement, au travers de chacune d'elles, sur le faisceau qui a traversé l'autre. Entre le diaphragme et la cathode aucune action perturbatrice n'est à redouter, les lignes de force étant des droites.

En même temps on vérifie que deux courants d'*afflux cathodique* ne se repoussent pas.

2° A $0^m,30$ d'une cathode presque ponctuelle est un diaphragme à deux fentes rapprochées ; à $0^m,30$ au-delà est une lame fluorescente. L'ombre cathodique du système des deux fentes est égale à l'ombre géométrique, et les rayons passant par l'une des ouvertures ne changent pas de direction quand on ferme l'autre.

3° Un diaphragme à deux trous est placé en avant d'une cathode cylindrique concave (*fig.* 2) ; on a ainsi deux faisceaux concourants, rectilignes à partir du diaphragme. Ces faisceaux se croisent sans s'influencer.

De même avec un tube à cinq cathodes concourantes placées dans des tubes distincts soudés à une ampoule unique, dans laquelle se fait le croisement. Le champ n'est très intense que près des cathodes, il est presque nul dans l'ampoule, et celle-ci constitue une sorte de cage de Faraday.

Il semble donc qu'il n'y ait pas lieu de parler d'action mutuelle s'exerçant lorsque deux faisceaux se pénètrent, ou que l'un d'eux rencontre des normales à l'autre cathode ; ces conditions, considérées comme nécessaires et suffisantes par M. Deslandres [1] et M. Goldstein [2], sont précisément réalisées dans la dernière des expériences précédentes, et aucune action ne se produit cependant. Dans la première expérience, au contraire (cathode plane précédée d'un diaphragme à deux trous), bien que le faisceau passant par l'une des ouvertures ne rencontre ni les rayons, ni les normales à la cathode

---

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXIV, p. 681 ; 1897.
(2) *Comptes Rendus*, t. CXXVI, p. 1199 ; 1898.

qui traversent l'autre, une faible répulsion apparente aurait lieu, si on rapprochait beaucoup les deux trous sans réduire en même temps leur diamètre de manière à laisser entre eux un plein suffisant. En pareil cas, et pour les raisons données plus haut, le diaphragme cesserait de constituer un écran efficace.

Les rayons cathodiques ne sont déviés que quand ils coupent des lignes de force, et leur électrisation, découverte par M. Jean Perrin (1), suffit à expliquer les effets observés jusqu'à présent, si l'on tient compte en même temps de l'électrisation du tube. Dans l'expérience classique réalisée par Crookes avec un tube à deux cathodes placées en regard de deux fenêtres, chacune des cathodes repousse le faisceau émis par l'autre, et l'action subsiste évidemment, au moins près des cathodes, si on ferme l'une des fenêtres, comme l'ont fait MM. Wiedemann et Ebert. La disposition ingénieuse imaginée par M. Deslandres (2), et consistant à entourer par un tube de mica l'une des cathodes et le faisceau correspondant, fait disparaître la déviation ; le mica se charge en effet comme les parois et fait écran ; on a, en réalité, deux tubes de Crookes intérieurs l'un à l'autre, mais électriquement distincts.

Les phénomènes d'attraction et de répulsion observés par l'auteur précédent (3) paraissent également être la conséquence de l'état électrique du tube ; ainsi une électrode placée au-devant et près de la cathode est, comme on l'a vu, à un potentiel beaucoup plus élevé que celle-ci et prend, par influence, une charge positive qui attire les rayons. Placée, au contraire, loin de la cathode, et par suite soumise presque uniquement à l'action des parois, elle se trouve dans un espace à potentiel très élevé presque uniforme. Si cette électrode présente une partie extérieure au tube ou, mieux, si elle est reliée à un conducteur extérieur, elle prend nécessairement une charge négative et repousse les rayons. L'action doit évidemment augmenter avec la capacité du conducteur, ce qui est conforme aux observations de M. Deslandres. Il y a également répulsion, pour les mêmes raisons, si l'électrode est reliée à la terre. Dans ce dernier cas surtout, la charge négative se manifeste par une émission de rayons cathodiques. Il suffit, d'ailleurs, de toucher un tube de Crookes

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, XI, p. 503.
(2) *Loc. cit.*
(3) *Comptes Rendus*, t. CXXIV, p. 680, 945, 1297 ; 1897.

avec le doigt, loin de la cathode, pour repousser le faisceau ; mais il est facile de voir que la paroi touchée se charge négativement, car elle émet des rayons cathodiques et prend en même temps une teinte jaune (lumière du sodium), caractéristique de l'arrivée sur le verre d'un afflux cathodique.

Soit maintenant un tube à cathode plane centrée de même diamètre que lui à peu près. Les surfaces équipotentielles sont sensiblement planes, et le faisceau est cylindrique. Vient-on à réduire le diamètre de la cathode, les surfaces de niveau s'incurvent, et le faisceau est divergent. Si la cathode présente la forme d'un rectangle très allongé, les rayons cathodiques doivent s'étaler en éventail dans un plan perpendiculaire à la plus grande dimension du rectangle, plan dans lequel la courbure des surfaces équipotentielles est maxima. il est facile de vérifier qu'il en est bien ainsi.

On voit que, pour obtenir un faisceau cathodique couvrant, à quelque distance, un espace notable, on devra employer une cathode très petite.

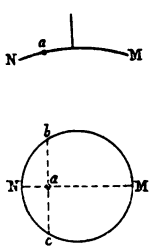

Fig. 3.

Supposons, au contraire, la cathode concave sphérique : à un vide peu avancé, les rayons émis forment un cône creux ; l'un d'eux, partant d'un point *a* (*fig.* 3), est repoussé par la partie *b*M*c* de l'électrode plus fortement que par *b*N*c* ; on peut encore dire que le projectile cathodique, dont ce rayon est la trajectoire, coupera obliquement les surfaces de niveau qu'il rencontrera successivement ; il se comportera comme un corps pesant lancé obliquement de haut en bas ; sa trajectoire s'infléchira, tendant à devenir parallèle à l'axe du cône ; les génératrices de celui-ci seront donc curvilignes, tournant leur concavité vers l'extérieur, et il en résultera cet allongement bien connu du foyer cathodique, allongement d'autant plus marqué que le vide est plus avancé et le champ, par suite, plus intense près

de la cathode. Plaçant au-devant de celle-ci un diaphragme à deux ouvertures (*fig.* 2), le cône d'émission se réduit à deux faisceaux concourants, rectilignes à partir du diaphragme, se coupant cependant au-delà du centre de courbure de la cathode. Cette expérience montre que l'inflexion des trajectoires n'est pas due à une action mutuelle des rayons, puisqu'elle cesse au-delà du diaphragme et qu'elle se produit surtout au voisinage de la cathode, sur un trajet de 10 à 15 millimètres, là précisément où le champ présente son maximum d'intensité.

Diffusion des rayons cathodiques. — Lorsqu'un faisceau cathodique, suffisamment resserré déjà pour qu'il y ait production de rayons X, rencontre la lame anticathodique d'un tube genre focus, une vive fluorescence du verre se produit dans toute la partie du tube située au-dessus du plan de l'anticathode ou d'un plan très voisin de celui-ci. Cette illumination hémisphérique a été attribuée par M. Silvanus P. Thomson à des *rayons paracathodiques* analogues aux rayons cathodiques, comme eux sensibles à un champ magnétique ou électrostatique, mais incapables de produire des rayons X. Leur point radiant est le point d'impact du faisceau direct.

Il s'agit, en réalité, de véritables rayons cathodiques aisément reconnaissables à leurs propriétés. On peut les considérer provisoirement comme provenant de la diffusion des rayons primaires, diffusion qui présente un maximum d'intensité dans une direction peu différente de celle qui correspond à la réflexion régulière.

Si on isole par un diaphragme un faisceau de ces rayons et qu'on le reçoive dans un tube latéral protégé électriquement, on peut s'assurer par le sens de la déviation magnétique ou électrique que ces rayons sont électrisés négativement.

En recevant ce faisceau sur une lame métallique, isolée ou reliée à l'anode, on obtient l'illumination hémisphérique du verre, comme dans le tube principal.

En même temps il se produit des rayons X qu'il est facile de distinguer des rayons secondaires découverts par M. Sagnac et qui prennent naissance en même temps. L'approche d'un aimant, écartant de l'obstacle le faisceau en expérience sans agir sur les rayons X primaires qui l'accompagnent, fait effectivement cesser cette émission, au moins pour l'observation à l'écran fluorescent.

Au point de vue de la production des rayons X, les rayons cathodiques diffusés se comportent vis-à-vis des obstacles rencontrés,

verre ou métaux, exactement comme les rayons directs. On peut le constater en photographiant, à la chambre noire, une anticathode formée par la juxtaposition de diverses substances et que l'on expose : 1° aux rayons cathodiques ordinaires; 2° aux rayons diffusés. Un écran en aluminium ou en verre protège les plaques sensibles contre l'action des rayons Sagnac. Avec des temps de pose convenablement choisis, les deux épreuves sont identiques.

Enfin les rayons diffusés possèdent, au point de vue chimique, des propriétés identiques à celles des rayons directs. Il en sera question dans un autre article.

Il n'y a pas lieu de supposer que les rayons dont il s'agit sont émis directement par l'anticathode devenant cathode quand la décharge est oscillante. Le résultat est en effet le même, que l'anticathode soit anode ou isolée. En second lieu, quand il y a oscillation, l'émission par l'anode se fait suivant les lois relatives aux cathodes et produit les mêmes effets que l'inversion du courant par le commutateur de la bobine; en regard des deux faces de la lame anticathodique apparaissent, sur le verre, deux plages fluorescentes restreintes, et diamétralement opposées, présentant des irrégularités qui correspondent aux reliefs de la lame et au point d'attache du fil qui la porte. Ce phénomène, absolument distinct de l'illumination hémisphérique, à laquelle il se superpose en apparence quand il y a oscillation, cesse d'ailleurs si on fait diminuer la résistance du tube.

Il est permis d'admettre qu'au contact d'un obstacle les particules électrisées en mouvement, qui constituent les rayons cathodiques, se diffusent en tous sens, conservant, en partie au moins, leurs charges et leur énergie cinétique. De cette diffusion résultent de nouveaux rayons se propageant à peu près rectilignement, parce que le champ est très faible dans la région où ils se forment; à part leur mode particulier d'émission, ces rayons sont identiques aux rayons directs.

III

J'ai précédemment montré que les rayons cathodiques, et aussi les rayons de Goldstein (*Kanalstrahlen*) se forment aux dépens d'un afflux de matière, chargée positivement, qui arrive à la cathode avec une vitesse considérable. Il est permis de supposer que cette matière est toujours la même, quel que soit le gaz sur lequel on ait fait le

vide, quel que soit le métal des électrodes. Tous les tubes de Crookes, bien que préparés par des procédés variés, donnent les mêmes effets et présentent une allure unique. Les expériences de M. J.-J. Thomson [1] permettent d'être plus affirmatif encore ; elles établissent en particulier que, pour une même chute de potentiel, la déviation magnétique des rayons est invariable, indépendante de la nature du gaz sur lequel on a fait le vide. Sous ces divers rapports, les tubes de Crookes sont absolument différents des tubes de Geissler.

L'emploi du spectroscope fournit une première indication sur la nature de la matière cathodique. L'instrument est dirigé vers la partie capillaire de l'appareil représenté (*fig.* 1), dans lequel on fait le vide sur l'air ou sur un gaz tel que l'oxygène, par exemple, qu'il est facile de préparer pur et sec, en chauffant un peu d'oxyde de mercure dans un petit tube soudé à la trompe. Les vapeurs de mercure sont retenues par du sélénium ; la vapeur d'eau est absorbée par de la potasse fondue au rouge. A un degré de vide variable avec la forme de l'appareil et ses dimensions, mais toujours tel qu'on ait un faisceau cathodique bien net et déjà étroit, on a, dans la partie capillaire, le spectre des gaz contenus dans le tube, plus celui de l'hydrogène. On observe alors, si C est cathode et A anode, que les raies de l'hydrogène s'affaiblissent rapidement et disparaissent

[illegible] *l Magazine*, 5e série, t. XLIV (oct. 1897).

complètement si l'expérience est faite avec soin. Le spectre des autres gaz reste invariable. Renversant le courant, les raies de l'hydrogène réapparaissent. Si on dirige, au contraire, le spectroscope vers la cathode et très près de celle-ci, on constate que, même dans un tube bien sec, le spectre de l'hydrogène est remarquablement intense et parfois seul visible. Ainsi l'hydrogène semble jouer un rôle privilégié dans les phénomènes de Crookes et constituer le courant de matière qui circule dans les tubes à l'état radiant.

Cette première indication trouvée, il devient possible d'aborder la question par des procédés chimiques.

I. *Rayons cathodiques.* — Dans un tube de Crookes pouvant donner un faisceau un peu divergent, une lame de cuivre oxydé superficiellement est placée à $0^m,15$ environ en face de la cathode ; entre cette lame et la cathode est interposé un petit obstacle en cuivre, oxydé également, fixé à la lame, et figurant par exemple une croix. L'ensemble peut être relié à l'anode, mais ceci importe peu. Le tube étant mis en activité, on observe, au bout de quelque temps, que l'ombre cathodique portée par la croix sur la lame se manifeste par une impression durable très nette, noire sur fond rouge. Examinant les choses de plus près, on constate que partout où le cuivre oxydé a été frappé par les rayons, il a pris une teinte rouge ; les parties protégées, c'est-à-dire l'ombre de la croix, le revers de la lame et celui de l'obstacle, sont restées noires. Il est à supposer que les rayons cathodiques ont exercé sur l'oxyde une action réductrice. Le phénomène est parfaitement net, si l'on a soin d'éviter que la lame ne s'échauffe notablement, auquel cas l'oxyde noir serait décomposé et ramené à l'état de sous-oxyde rouge.

Il est préférable de prendre comme réactif un silicate. Par suite de la puissance de pénétration des rayons cathodiques, la réduction se fait alors dans la masse, à l'abri de l'atmosphère intérieure du tube.

Si, par exemple, la paroi anticathodique d'un tube de Crookes est recouverte intérieurement d'une mince couche de verre vert à l'oxyde cuivrique, ce revêtement se transforme en verre rouge cuivreux sous l'action des rayons cathodiques. De même le cristal est réduit : il noircit partout où il est frappé par les rayons cathodiques, comme au contact d'une flamme réductrice, à cela près que l'action est moins superficielle. Ceci explique la formation de taches brunes sur la paroi anticathodique de tubes de Crookes ayant beaucoup servi.

Le verre ordinaire contient, en effet, presque toujours du plomb et brunit souvent au contact prolongé d'une flamme réductrice.

La réduction du cristal réussit, même si le vide est fait sur de l'oxygène très pur :

Un tube de Crookes, à cathode d'aluminium, présente une paroi anticathodique en cristal ; après lavage à l'acide nitrique bouillant, ce tube reçoit, par une ouverture qui sera scellée ensuite, un disque en cuivre profondément oxydé, dans lequel est pratiquée une découpure en forme de croix. L'appareil est alors relié à une trompe à mercure sans robinets, par l'intermédiaire de tubes contenant de l'oxyde de cuivre et de la potasse fondue au rouge. Une ampoule contenant un peu d'oxyde de mercure préalablement purifié par plusieurs chauffages est soudée à la canalisation qui, bien entendu, est toute en verre passé à la flamme. Après avoir fait le vide, on remplit l'appareil d'oxygène plusieurs fois sous une pression de quelques millimètres, et on le chauffe fortement chaque fois, en ayant soin d'insister particulièrement sur le tube de Crookes et l'oxyde de cuivre. Cette opération est renouvelée au cours des expériences. Dans ces conditions, on est sûr que l'atmosphère du tube est formée d'oxygène presque pur ; d'ailleurs, le spectre de l'hydrogène n'est plus visible. Cependant l'action réductrice des rayons cathodiques n'est pas diminuée ; ceux-ci, passant par la découpure pratiquée dans la lame de cuivre oxydé vont marquer une croix noire sur le fond du tube. Le résultat est le même, si l'espace obscur est limité à quelques centimètres seulement de la cathode, et la réduction se fait alors dans une région où le spectre de l'oxygène est très brillant.

L'expérience peut encore se faire en recevant les rayons cathodiques sur une paroi de verre partiellement recouverte de cristal ; ce dernier seul noircit, ce qui montre bien qu'il ne s'agit pas de parcelles arrachées aux électrodes.

La réduction du cristal réussit également dans un tube à électrodes extérieures, et on ne saurait invoquer ici la mise en liberté, par l'effet du courant, d'hydrogène ou d'oxyde de carbone condensés dans le métal.

Rayons cathodiques diffusés. — Les rayons cathodiques diffusés par les anticathodes possèdent, comme les rayons directs, la propriété de réduire le cristal même dans une atmosphère d'oxygène. Pour le constater, il suffit de faire fonctionner, pendant une heure ou deux, un tube dont l'anticathode est entourée d'un manchon de

cristal, qu'il convient de prendre étroit, puisque, dans le cas présent, les rayons divergent en tous sens à partir d'un point. L'expérience terminée, on observe que le cristal est réduit dans toute la partie du manchon située au-dessus du plan de l'anticathode. La réduction n'est pas due aux rayons X, car elle est empêchée par l'interposition d'une mince feuille d'aluminium ($0^{mm},1$).

Afflux cathodique. — Si la partie centrale d'une cathode plane est remplacée par une lame de cristal, ce qui ne modifie pas sensiblement la marche de l'afflux ni la production du faisceau cathodique central, on constate que le cristal est profondément réduit là où il est frappé par le courant gazeux, et le cercle d'impact de l'afflux marque ainsi sa trace sur la lame. Cette trace se réduit presque à un point central dans un tube de révolution, quand le vide est suffisamment poussé. Cette expérience peut être combinée avec l'une des précédentes et on obtient ainsi une réduction aux deux extrémités du faisceau cathodique.

Rayons de Goldstein. — Une lame de cristal, placée sur le trajet des rayons de Goldstein, est rapidement réduite. Ce résultat pouvait être prévu, les rayons dont il s'agit n'étant autre chose que le prolongement de l'afflux cathodique, qui continue sa route au travers d'une cathode perforée, après avoir perdu sa charge.

Ainsi les rayons cathodiques, les rayons de Goldstein, et l'afflux cathodique paraissent formés aux dépens d'une matière possédant d'une manière constante la propriété de réduire certains oxydes, et cela indépendamment de son état électrique, qui est l'état neutre dans le cas des rayons de Goldstein.

Le résultat est le même, soit qu'on opère sans précautions spéciales, soit au contraire qu'on fasse le vide sur de l'oxygène très pur, ou même qu'on supprime les électrodes intérieures. Il semble donc que l'on chercherait vainement à obtenir des rayons cathodiques formés aux dépens d'une matière quelconque.

Or le seul gaz réducteur que l'on puisse trouver dans un tube sans électrodes, lavé, puis chauffé fortement, est évidemment l'hydrogène ; c'est précisément celui que le spectroscope montre se portant à la cathode à l'exclusion des autres. Son origine est facile à trouver ; on ne saurait, en effet, se débarrasser complètement de l'eau par des desséchants, et le verre peut en fournir presque indéfiniment, surtout si on le chauffe ; la régénération des tubes de Crookes par un séjour suffisant à l'étuve se trouve ainsi expliquée sans peine.

J'ajouterai qu'avec un tube à électrodes de mercure, dans lequel le vide a été fait avec beaucoup de soin sur le mercure bouillant, je n'ai observé que le phénomène de Geissler; il ne s'est pas formé de rayons cathodiques.

Les propriétés physiques et chimiques de l'hydrogène font déjà de ce gaz un corps à part dans la série des éléments; il n'est nullement invraisemblable d'admettre qu'il possède, et cela exclusivement, la propriété de pouvoir donner des rayons cathodiques.

L'air liquide;

Par M. D'ARSONVAL [1].

Avant de décrire sommairement la machine du professeur Linde, cet intéressant appareil, je rappellerai brièvement les phases de cette opération, aujourd'hui si simple : la liquéfaction de l'air atmosphérique.

C'est dans la séance du 24 décembre 1877 que M. Cailletet annonça à l'Académie des Sciences qu'il était arrivé à liquéfier la plupart des gaz réputés permanents. Sa méthode, aussi neuve qu'originale, consistait à refroidir brusquement le gaz, par sa propre détente, après l'avoir comprimé à une pression plus ou moins élevée.

Nous connaissons aujourd'hui la condition essentielle pour liquéfier un gaz quelconque : il suffit d'abaisser sa température au-dessous de la température critique qui lui est propre. Tant que cette condition n'est pas réalisée, aucune pression, si grande soit-elle, ne peut amener la liquéfaction.

Pour liquéfier l'air, il faut d'abord abaisser sa température à — 140°; cela fait, une pression inférieure à 40 atmosphères permet de l'obtenir à l'état liquide. Si l'on veut l'obtenir à une pression encore plus faible, à la pression atmosphérique, par exemple, de manière à l'avoir en vase ouvert, il faudra abaisser la température jusqu'à — 191°.

Ces notions, qui nous paraissent aujourd'hui si simples, n'ont pu se faire jour que peu à peu, et c'est grâce à elles que la liquéfaction de l'air atmosphérique a cessé d'être une curiosité de laboratoire

---

[1] Séance du 1er juillet 1898.

pour devenir une opération industrielle entre les mains de M. Linde.

Dans l'expérience de M. Cailletet, la masse gazeuse détendue étant très limitée, et la détente n'amenant qu'un refroidissement momentané, la liquéfaction ne persistait que quelques instants, juste le temps matériel de la constater. Ce refroidissement était seulement *dynamique*, c'est-à-dire essentiellement transitoire. Pour obtenir le gaz liquéfié d'une façon stable à l'état *statique*, il fallait le refroidir au-dessous de la température critique. C'est également notre confrère, M. Cailletet, qui indiqua le moyen d'obtenir ce refroidissement en plongeant le récipient contenant le gaz comprimé dans l'éthylène liquide, qui bout à — 105°. Cet abaissement de température n'étant pas encore suffisant pour atteindre le point critique de l'oxygène, — 113°, M. Cailletet suggéra l'idée de descendre plus bas en évaporant l'éthylène liquéfié dans le vide, comme Faraday l'avait fait pour le protoxyde d'azote.

Cette expérience définitive, qui permit d'obtenir liquides à l'état *statique* l'oxygène, l'azote et l'oxyde de carbone, fut réalisée seulement en 1883 par MM. Wroblewski et Olszewski qui, en perfectionnant les appareils de M. Cailletet, atteignirent la température de — 139°, au moyen de l'éthylène liquide évaporé dans le vide. C'est en évaporant également dans le vide des corps de plus en plus volatils : acide carbonique, éthylène, oxygène, que les physiciens, et tout particulièrement M. Olszewski, ont pu nous faire connaître les propriétés des gaz liquéfiés.

M. James Dewar, depuis l'année 1884, en suivant la même voie et en perfectionnant les appareils, a obtenu des masses de gaz liquéfiés incomparablement plus grandes que ses devanciers, puisque, comme il le dit lui-même, il a pu recueillir l'oxygène liquide *par pintes* et réaliser ainsi les belles expériences que l'Académie connaît.

En somme, les appareils graduellement perfectionnés par MM. Cailletet, Olszewski et Dewar, se composent de trois machines à froid par évaporation, employant des liquides de plus en plus volatils : acide carbonique, éthylène, oxygène. On comprend sans peine, comme le fait remarquer M. Linde, que l'installation et l'exploitation de pareilles machines entraînent des frais et des difficultés qui s'opposent à leur emploi dans l'industrie.

Pour arriver à obtenir ce refroidissement, qui est la condition nécessaire et suffisante pour liquéfier un gaz quelconque, M. Linde a repris le principe si fécond de la détente, imaginé par M. Cailletet,

en rendant cette détente continue, si je peux m'exprimer ainsi, et en usant d'artifices des plus ingénieux.

Cet appareil à liquéfier l'air a ceci d'extrêmement remarquable qu'il n'emploie aucun agent réfrigérant autre que l'air lui-même, et que tout le mécanisme se réduit à une pompe qui comprime cet air et à un serpentin où il se détend de façon continue par la manœuvre d'un simple robinet.

Mais, pour arriver à ce résultat, M. Linde a dû révoquer en doute un axiome admis par tous les physiciens, à savoir qu'une machine à air froid dépourvue de cylindre de détente (où se produit un *travail extérieur*) ne pourrait pas produire de froid du tout. Cela est absolument exact pour un gaz *parfait*, comme le supposent les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, parce que, pour ce gaz parfait, les forces *intérieures* sont infiniment petites.

M. Linde s'est heureusement souvenu que Thomson et Joule ont démontré depuis près de quarante ans que l'air atmosphérique n'est pas un gaz *parfait* et que, lorsqu'il s'écoule d'une pression élevée à une pression plus basse, il éprouve un refroidissement θ, *indépendant de l'énergie du jet*, qui est donné par la formule

$$\theta = 0{,}276\,(p_1 - p_2)\left(\frac{273}{T}\right)^2,$$

où $p_1 - p_2$ représente la différence de pression en atmosphères, et T la température *absolue* du jet.

C'est sur le froid résultant de cette détente continue qu'est basée la nouvelle machine. Ce refroidissement, comme on peut le voir, est d'abord très faible (un quart de degré par atmosphère), ce qui nécessiterait des différences de pression formidables (au moins 800 atmosphères) pour abaisser la température de l'air à — 200°. Inutile de dire que de pareilles pressions ne seraient pas pratiques. De plus, le travail de compression serait énorme. M. Linde a tourné ces deux difficultés très ingénieusement : 1° en *accumulant* les effets de la détente continue; 2° en ne laissant pas détendre l'air comprimé jusqu'à la pression atmosphérique.

L'accumulation des effets est obtenue au moyen de deux tuyaux concentriques en cuivre entrant l'un dans l'autre et longs de 15 mètres. Le tuyau intérieur est parcouru par l'air venant d'une pompe qui le comprime à 220 atmosphères. Arrivé au bout de ce tuyau, l'air se détend dans le second tuyau à 20 atmosphères et le parcourt *en sens*

inverse après s'être refroidi de 50° par la détente ; mais, dans son trajet, il cède le froid produit à l'air qui arrive comprimé à 220 atmosphères, de sorte qu'à l'extrémité du second tuyau l'air, détendu à 20 atmosphères, retourne à la pompe de compression à la température

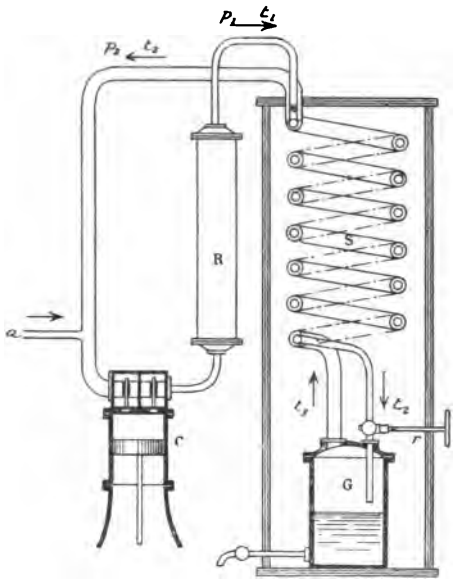

FIG. 1.

C, Compresseur d'air à 220 atmosphères.
R, Réfrigérant ramenant l'air comprimé à la température ambiante.
t_1, t_2, Serpentin intérieur parcouru de haut en bas par l'air comprimé à 220 atmosphères.
r, Robinet détendeur.
G, Réservoir où l'air se détend de 220 atmosphères à 20 atmosphères et où une partie se liquéfie par la détente.
t_3, t_4, Serpentin extérieur que l'air détendu parcourt de bas en haut. Cet air revient au compresseur
a, Tubulure apportant de l'air nouveau pour remplacer celui qui se liquéfie.

ambiante, après avoir cédé tout le froid produit par la détente à l'air qui arrive. Ces deux tuyaux sont roulés en serpentin pour tenir moins de place et isolés dans une caisse en bois bourrée de laine brute pour éviter les apports de chaleur extérieure. Par ce moyen la température, avant et après l'écoulement, s'abaisse graduellement jusqu'à ce que la température de liquéfaction soit atteinte et qu'une partie de l'air qui

s'écoule se rassemble à l'état liquide dans le récipient adapté à l'extrémité de l'appareil.

D'après la formule de Thomson et Joule, le *refroidissement* dépend de la *différence* des pressions $p_1 - p_2$, tandis que le *travail* de compression dépend du *quotient* de ces mêmes pressions $\frac{p_1}{p_2}$. Il y a donc avantage à avoir $p_1 - p_2$ très grand et $\frac{p_1}{p_2}$ le plus petit possible. C'est le résultat atteint par M. Linde en faisant $p_1 = 220^{atm}$ et $p_2 = 20^{atm}$ et non 1 ; en effet $p_1 - p_2 = 200$, tandis que $\frac{p_1}{p_2} = 11$ et non 200, comme cela arriverait si l'on détendait jusqu'à la pression atmosphérique.

En somme, sans vouloir donner de description plus détaillée, la machine de M. Linde repose sur trois points principaux :

1° Refroidissement par *travail intérieur* de l'air se détendant et résultant de ce qu'il n'est pas un gaz parfait suivant les lois de Mariotte et de Gay-Lussac ;

2° Accumulation du refroidissement par le principe du contre-courant réalisé d'une façon parfaite par l'échangeur de température, composé de deux serpentins concentriques où l'air circule en sens inverse ;

3° Diminution du travail de compression en ne laissant pas l'air se détendre jusqu'à la pression atmosphérique.

Tels sont les points extrêmement ingénieux qui caractérisent la machine de M. Linde et qui rendent industrielle la liquéfaction de l'air atmosphérique. La machine que j'ai au laboratoire produit environ 1 litre d'air liquide à l'heure en dépensant un peu moins de trois chevaux. C'est déjà un résultat remarquable, mais qui est dépassé de beaucoup par les machines industrielles du même inventeur donnant 60 kilogrammes d'air liquide à l'heure.

On suit très facilement l'abaissement de température au moyen d'une soudure thermo-électrique (constantan-fer), reliée à un galvanomètre Deprez-d'Arsonval indiquant jusqu'à — 250°.

Une fois liquéfié, il faut pouvoir recueillir et garder cet air à la pression atmosphérique. Pour cela, il faut des récipients aussi imperméables que possible à la chaleur. M. J. Dewar recommande pour cet usage des vases spéciaux où l'enveloppe isolante est constituée par le vide de Crookes.

C'est Dulong et Petit qui, dans leurs remarquables recherches sur

le refroidissement, ont les premiers montré qu'un corps placé dans une enceinte vide se refroidit (ou se réchauffe) de 20 à 25 fois plus lentement que dans l'air atmosphérique.

Sans vouloir soulever aucune discussion de priorité, je crois devoir rappeler que, me basant sur les expériences de Dulong et Petit sur le pouvoir thermo-isolateur du vide, j'ai répandu depuis 1887, parmi les médecins français, des réservoirs en verre identiques, *comme destination et comme forme*, à ceux employés par M. Dewar.

Voici en effet ce que je disais dans une Note publiée le 11 février 1888 dans les *Comptes rendus de la Société de Biologie* (Masson, éditeur) :

« Dans bien des circonstances il importe de réaliser un milieu aussi imperméable que possible à la chaleur et qui soit néanmoins parfaitement transparent. Après bien des essais, dans le détail desquels je ne saurais entrer ici, j'ai trouvé que le vide sec, fait dans un vase en verre, constitue une excellente enveloppe pour arrêter la chaleur obscure. L'appareil se compose en principe de deux vases en verre entrant l'un dans l'autre et soudés de façon à former un vase unique. Cet ensemble constitue un récipient qui présente deux cavités concentriques : l'une intérieure, qui est le réservoir proprement dit; l'autre annulaire, où l'on fait le vide sec à l'aide de la pompe à mercure. La transparence des parois de ce récipient permet de voir tout ce qui se passe dans son intérieur. L'enveloppe annulaire, où le vide sec existe, constitue la paroi thermo-isolatrice. J'ai pu constater qu'un liquide chaud, placé dans le vase intérieur, se refroidit de quinze à vingt fois plus lentement que si l'enveloppe isolatrice n'existait pas. Cette protection est encore bien plus efficace si l'on place dans l'appareil un liquide très froid, tel, par exemple, qu'un gaz liquéfié (acide sulfureux, acide carbonique et éther, chlorure de méthyle, etc.)...

« ... Le résultat obtenu est déjà plus satisfaisant en plongeant le tube dans l'air sec, mais cette protection est bien moins efficace que le vide sec parce que, dans l'air desséché, le tube s'échauffe par convection, l'air de l'espace annulaire passant constamment d'une des parois à l'autre. Dans un récipient constitué comme je viens de le dire, on peut conserver les gaz liquéfiés pendant des heures à la température ambiante et les manier aussi facilement que l'eau ordinaire, la transparence absolue du récipient permettant de suivre tous les phénomènes qui se passent dans le liquide. »

J'ajouterai que, pour produire avec le chlorure de méthyle (ou d'autres gaz liquéfiés) des températures aussi basses qu'en évapo-

rant ces liquides dans le vide, j'ai signalé depuis nombre d'années le procédé suivant qui dispense de tout mécanisme : il suffit de verser le chlorure de méthyle dans un vase *poreux* de pile pour que la température du liquide se maintienne automatiquement dans ce vase aux environs de — 60°, bien que le chlorure de méthyle bouille seulement à — 23°. Ce procédé est plus simple que l'insufflation d'air ou l'évaporation dans le vide et m'a rendu de grands services.

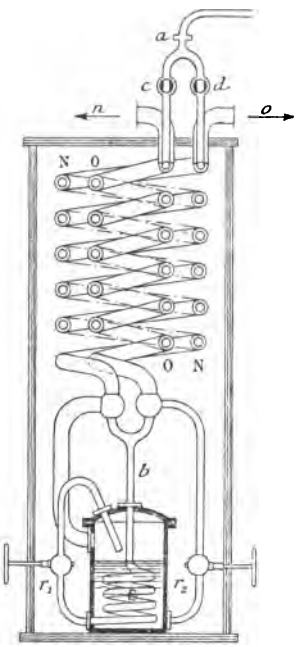

Fig. 2.

Extraction de l'oxygène de l'air. — Pendant la liquéfaction de l'air ses éléments passent *simultanément* à l'état liquide, bien que l'azote soit plus volatil ; mais, pendant la réévaporation, l'azote se dégage le premier. Il est donc possible d'utiliser ce fait pour séparer l'azote de l'oxygène. Mais, par économie, il est évident que l'azote gazeux doit sortir de l'appareil à la température ambiante. Il doit restituer à l'appareil tout le froid produit pendant sa distillation. M. Linde obtient ce résultat par la disposition suivante représentée schématiquement (*fig.* 2) :

L'air comprimé est distribué en *a* à deux appareils à contre-courant,

N et O, se rassemble de nouveau en *b*, s'écoule par un serpentin placé dans le collecteur et arrive enfin, par le robinet r_1, dans ce collecteur, où une partie (principalement de l'oxygène) se liquéfie, tandis que l'autre partie (principalement de l'azote) retourne par l'appareil tubulaire N et quitte la machine en *n*. Au moyen du serpentin placé dans le liquide, l'air comprimé cède de la chaleur à ce liquide et en provoque ainsi l'évaporation d'une plus ou moins grande partie (et d'abord de l'azote qu'il contient encore).

Le robinet r_2 permet de régler la sortie du liquide du collecteur de façon à pouvoir faire varier à volonté le niveau de ce liquide et par conséquent la surface active du serpentin, suivant la quantité de chaleur nécessaire pour assurer à l'oxygène un certain degré de pureté. Le liquide qui sort en r_2 (oxygène plus ou moins pur) passe dans l'appareil à contre-courant *o* et enlève à l'air comprimé, qui arrive en sens inverse, la chaleur qui lui est nécessaire pour la réévaporation et pour équilibrer sa température. La division de l'air en *a* s'effectue au moyen de deux robinets *c* et *d*, de façon que la température de sortie des gaz en *n* et *o* soit égale et seulement de quelques degrés inférieure à la température ambiante. De cette façon, la machine n'a à produire que le froid nécessaire pour compenser les pertes dues à l'imperfection des échangeurs et au rayonnement. Les essais ont démontré qu'il était possible, par ce procédé, d'extraire de l'air atmosphérique plus de 6 mètres cubes d'oxygène pur par cheval-heure.

D'autres mélanges gazeux peuvent être séparés par le même procédé.

On voit donc qu'il est possible, avec l'air liquide, d'obtenir et les températures les plus basses et les températures les plus élevées que l'on puisse produire. On a déjà fait une application industrielle pour la préparation du carbure de calcium par la combustion directe du carbone dans l'oxygène en présence de la chaux. Étant donné le bas prix de l'oxygène, le prix de revient serait inférieur à celui du four électrique.

Action sur les ferments solubles, les ferments figurés et les microbes. — Versé directement sur la peau, l'air liquide ne produit pas de brûlure, malgré sa basse température.

Cela tient à ce qu'il n'y a pas contact, le liquide prenant l'état sphéroïdal. Mais, si la peau est mouillée et que le contact s'établisse, il y a

brûlure au bout d'un certain temps, mais brûlure superficielle, car la couche de glace qui se forme aux dépens de l'eau des tissus isole les parties sous-jacentes. C'est ce qui explique que l'air liquide puisse être introduit dans l'estomac sans produire des lésions, ainsi que j'ai eu l'occasion de constater le fait dans un banquet où, ayant mêlé de l'air liquide à du champagne, un convive avala précipitamment 10 à 15 centimètres cubes d'air liquide.

Il n'éprouva d'autre accident qu'un ballonnement passager de l'estomac sous l'influence de la volatilisation rapide du gaz liquéfié. Une éructation débarrassa l'organe de son trop-plein gazeux, comme après l'ingestion de l'eau de seltz, et tout rentra immédiatement dans l'ordre.

J'ai étudié l'action de l'air liquide sur les ferments solubles (invertine de la levure de bière, tyrosinase des champignons, suc pancréatique, etc.), tantôt en ne faisant intervenir que la température, tantôt en versant les ferments directement dans l'air liquide. Malgré des séjours qui ont varié de une heure à six jours, les ferments n'ont pas été modifiés en quoi que ce soit dans leur activité, ni par le froid, ni par le contact de l'oxygène condensé.

Je pensais que la cellule vivante serait plus facilement impressionnée. J'ai commencé par la levure de bière.

Ce ferment, après avoir séjourné dans l'air liquide, est en quelque sorte anesthésié ; il ne perd complètement son action que durant quelques heures, puis la fermentation se produit, mais moins active. La levure de bière est donc influencée, mais non détruite complètement par l'air liquide.

La cellule de levure est déjà un organisme compliqué, présentant un protoplasma et des membranes d'enveloppe que la congélation peut briser. Il n'en est pas de même des microbes, organismes plus inférieurs que la levure. J'ai opéré sur le bacille du pus bleu et sur celui de la diphtérie. Le premier sécrète une matière colorante bleue, et, aussitôt que sa vitalité est tant soit peu troublée, cette sécrétion colorée cesse de se produire. C'est donc un réactif très sensible.

Après six heures de séjour *au contact* de l'air liquide, le bacille pyocyanique, ensemencé sur un bouillon frais ou sur l'agar, a poussé avec vigueur, et la culture présentait le pigment bleu en abondance. Il n'avait donc nullement souffert. Il en a été de même pour le microbe de la diphtérie. Il a fallu un séjour de cent quarante heures consécutives dans l'air liquide pour que le bacille pyocyanique cessât de

sécréter la pyocyanine; mais il n'était pas mort pour cela, car une deuxième culture du même microbe redonnait la pyocyanine en abondance.

On peut donc conclure de ces expériences que les microbes pathogènes sont à peine influencés par un séjour prolongé au contact direct de l'oxygène liquide. On aurait pu penser que, les microbes ensemencés étant dans un milieu de culture aqueuse, il pouvait se former une couche de glace les isolant du contact de l'oxygène.

J'ai donc refait ces expériences avec les mêmes microbes préalablement desséchés dans le vide. Les résultats ont été sensiblement les mêmes, et en tout cas la différence était très peu sensible.

J'ai opéré de même avec différentes toxines microbiennes et notamment avec la toxine diphtéritique et la toxine tétanique. Leur pouvoir toxique n'a nullement été modifié par un séjour prolongé dans l'air liquide.

Ces faits semblent en contradiction avec les expériences de Paul Bert, qui avait trouvé dans l'oxygène comprimé un réactif tuant les ferments figurés, tandis qu'il respectait les ferments solubles. Il n'en est rien; cela prouve simplement que l'oxygène comprimé à la température ambiante n'a pas du tout les mêmes propriétés physiologiques que l'oxygène à l'état liquide. Bien que la condensation moléculaire soit plus grande avec l'oxygène liquide, il est probable que le froid commence par anesthésier la matière vivante et la fait tomber dans cet état d'indifférence chimique que l'on obtient également par la dessiccation préalable lorsqu'on agit sur les rotifères, l'anguillule du blé niellé et les autres animaux dits ressuscitants. Il me reste à voir, pour compléter l'explication, ce que ferait l'oxygène *gazeux* comprimé sur des microbes préalablement refroidis à — 10°, par exemple.

Quoi qu'il en soit, on voit par ces expériences que l'air liquide, contrairement à ce qu'on aurait pu penser, ne constitue nullement un antiseptique et qu'il n'y a pas lieu de compter sur les grands froids pour détruire les épidémies d'origine microbienne. A ce point de vue, la lumière est infiniment plus active, ainsi que je l'ai démontré dans des expériences antérieures faites avec mon assistant, le Dr Charrin.

J'ajoute que toutes ces cultures ont été soigneusement préparées et suivies par mon assistant, dont la compétence spéciale en microbiologie doit faire écarter l'idée de toute erreur provenant d'un vice de technique.

L'ozone dans les mêmes conditions s'est montré tout aussi inactif que l'oxygène liquide.

J'ai préparé de l'ozone très concentré que je faisais dissoudre à mesure de sa production dans l'air liquide. L'air liquide devient de plus en plus bleu à mesure qu'il s'enrichit en ozone liquide. J'ai poussé la concentration jusqu'à avoir un liquide aussi bleu que la liqueur de Fehling. L'ozone bouillant vers — 118°, alors que l'air liquide se volatilise complètement au-dessous de — 180°, la solution d'ozone allait en s'enrichissant de plus en plus. Les toxines et les microbes laissés dans ce liquide n'ont néanmoins pas été sensiblement atténués, nouvelle preuve de l'état d'indifférence chimique où tombe la matière vivante à ces basses températures. On voit, d'après cela, que des germes peuvent rester impunément pendant des temps fort longs à des températures presque aussi basses que celles des espaces célestes. Il n'y a donc aucune témérité à penser que la vie peut persister à l'état latent dans des planètes où le refroidissement a été suffisant pour condenser l'atmosphère à l'état liquide et même à l'état solide.

Quelle est la limite de persistance de la vie à cet état latent? Nous n'en savons rien; mais elle est très grande, même pour des êtres infiniment plus relevés dans l'échelle vivante que les microbes.

Je possède en effet du blé niellé donné à Claude Bernard par Davaine il y a plus de quarante ans.

Ces épis, enfermés dans des tubes scellés, contiennent des anguillules qui ressuscitent encore parfaitement quand on les humecte, ainsi que je le montre de temps à autre dans mes leçons au Collège de France.

L'appareil de Linde met entre les mains des expérimentateurs un instrument de recherche de premier ordre. Les conquêtes qu'on pourra réaliser, grâce à lui, dans le domaine de la science pure, ne le cèdent en rien à l'importance de ses applications purement industrielles. J'aurai occasion de revenir sur ce point en montrant prochainement quels progrès peut en attendre la physique biologique.

Méthode de contrôle de l'orientation des faces polies d'un quartz épais normal à l'axe;

Par M. R. Dongier [1].

I. — Les constructeurs utilisent le phénomène des spirales d'Airy pour orienter normalement à l'axe les faces parallèles d'un quartz épais. Un Norremberg, éclairé par de la lumière jaune, convient pour cet usage. Le polariseur et l'analyseur étant à l'extinction, on dispose le quartz épais au-dessous de la lentille qui fait converger le faisceau vers le miroir réfléchissant; la lumière arrive donc à l'analyseur après avoir traversé le cristal dans deux sens opposés et elle pénètre dans l'œil après avoir traversé un diaphragme de très petite ouverture (cercle de 1/2 millimètre de diamètre environ). Avant tout et comme première approximation, on cherche à réaliser la netteté des franges noires qui se déroulent en spirales. On précise ensuite l'orientation des faces du cristal en faisant croiser les spirales deux à deux en des points situés sur des directions parallèles aux sections principales du polariseur et de l'analyseur. Ces croisements ont lieu sous de très petits angles, et un œil peu exercé les confondrait avec des points de tangence; cette opinion paraît d'autant mieux justifiée qu'une petite inclinaison du cristal par rapport au faisceau lumineux central amoindrit la netteté des bandes, en raccordant entre elles, d'une part, les directions intérieures de part et d'autre du point anguleux, et, d'autre part, les directions extérieures, tout en supprimant l'apparence du contact.

Ainsi que j'ai pu le vérifier avec les quartz taillés chez M. Jobin, cette pratique conduit à d'excellents résultats. Toutefois, comme une longue habitude est nécessaire pour acquérir la certitude d'une exacte orientation, je crois utile de décrire une méthode qui puisse donner une précision illimitée, en principe, au contrôle de l'orientation des faces du cristal taillé.

II. — Le dispositif expérimental exige seulement l'emploi des accessoires destinés à produire un spectre cannelé, auxquels on doit joindre une plate-forme graduée, destinée à supporter le quartz [2].

---

[1] Séance du 18 novembre 1898.

[2] J'ai fait usage, en particulier, du goniomètre décrit au *Journ. de Phys.*, 3e série, t. VIII, p. 637; 1898. La plate-forme supportant le quartz est munie d'un limbe gradué.

Un faisceau parallèle de lumière blanche traverse, normalement à ses faces, le quartz épais placé entre un polariseur et un analyseur *croisés;* il donne ainsi un spectre cannelé avec minima d'intensité théoriquement nuls. Si on incline le cristal par rapport à la lumière incidente, ces minima d'intensité restent toujours nuls, tandis que les cannelures se resserrent en se déplaçant vers le rouge. Un quartz bien taillé doit correspondre, pour une même inclinaison de part et d'autre de la normale, au passage du même nombre de franges sur la croisée des fils du réticule de la lunette du spectroscope.

Si les sections principales du polariseur et de l'analyseur sont parallèles, les cannelures perdent de leur netteté lorsqu'on augmente l'inclinaison dans une direction qui n'est pas à 45° de cette direction principale ; elles tendent à disparaître à partir d'une certaine inclinaison. Bien que ce cas diffère notablement du précédent, M. Beaulard, auquel j'emprunte le principe de la méthode (1), n'en signale pas les inconvénients. De plus, les indications de cet auteur sont très brèves; elles ne démontrent ni ne précisent les particularités de l'expérience. Il y a donc lieu de les compléter.

III. — Dans une direction inclinée par rapport à l'axe du quartz, où interviennent la biréfringence et le pouvoir rotatoire, il se propage, sans déformation, deux vibrations elliptiques privilégiées, de giration inverse, ayant leurs grands axes respectivement perpendiculaire et parallèle à la direction principale de la biréfringence (2). La valeur k, positive et inférieure à l'unité, du rapport des axes, qui est la même pour chacune des ellipses, dépend de la différence de marche φ des vibrations principales, qui existeraient si la double réfraction intervenait seule, ainsi que de la rotation totale ω du plan de polarisation. Elle est donnée par la relation :

$$k^2 + \frac{2\pi}{\omega} \cdot \frac{\varphi}{\lambda} k - 1 = 0 \text{ (3)}.$$

La différence de marche δ des deux vibrations elliptiques est donnée par :

$$\pi \frac{\delta}{\lambda} = \omega \sqrt{1 + \left(\frac{\pi\varphi}{\omega\lambda}\right)^2}.$$

(1) *Annales de la Faculté des Sciences de Marseille*, et Thèse, p. 38. M. Beaulard indique en quelques mots ce dispositif.

(2) Airy, *Cambr. Trans.*, t. IV; 1831.

(3) Gouy, *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IV, p. 149; 1885.

A toute vibration rectiligne incidente OA faisant l'angle ψ avec la direction principale Ox de la biréfringence, correspond à l'émer-

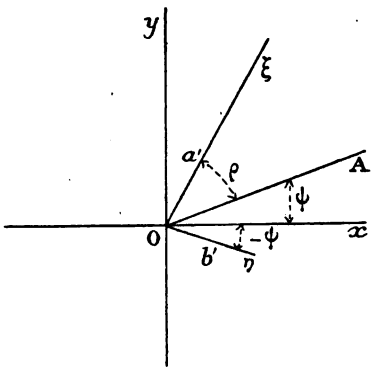

FIG. 1.

gence une vibration elliptique qu'on peut définir au moyen de k et de δ. Cette ellipse peut être rapportée à deux diamètres conjugués : l'un b' a une direction $O\eta$ symétrique de la vibration incidente par rapport à Ox et a pour expression :

$$b' = -\frac{1-k^2}{1+k^2}\sin\pi\frac{\delta}{\lambda};$$

l'autre a' fait avec la direction de la vibration incidente et dans le sens du pouvoir rotatoire l'angle ρ défini par :

$$\operatorname{tang}\rho = \frac{2k}{1+k^2}\sin\pi\frac{\delta}{\lambda}.$$

Il a pour expression :

$$a' = \frac{\cos\pi\frac{\delta}{\lambda}}{\cos\rho} = \frac{2k}{1+k^2}\cdot\frac{\sin\pi\frac{\delta}{\lambda}}{\sin\rho}\ (^1).$$

Pour qu'une vibration rectiligne incidente donne naissance, à l'émergence, à une vibration qui soit rectiligne, *quelle que soit la*

(1) Ce mode de représentation de la vibration émergeant du quartz est indiqué dans le *Traité d'Optique* de M. Mascart (t. I, p. 237). Il conduit très aisément à toutes les conclusions déjà formulées sur la superposition du p. r. et de la biréfringence, ainsi qu'on peut le voir dans l'appendice paru aux *Ann. de Ph. et Ch.*, 7e série, t. XIV, p. 510; 1898.

direction de la biréfringence, c'est-à-dire quel que soit l'angle ψ, il faut que l'un des deux vecteurs a' ou b' soit nul. Le vecteur a' ne s'annule jamais ; le vecteur b' s'annule lorsque $\pi \frac{\delta}{\lambda} = p\pi$; mais alors $\rho = p\pi$, $a' = 1$, et la vibration émergente se trouve dans la direction de la vibration incidente. Ces formules et ces remarques permettent d'expliquer les différentes particularités signalées plus haut.

1° *Le polariseur et l'analyseur sont croisés.* — L'analyseur arrête toutes les radiations pour lesquelles la vibration émergeant du quartz est parallèle à celle qui sort du polariseur. Ces radiations sont caractérisées par la relation :

$$\pi \frac{\delta}{\lambda} = \omega \sqrt{1 + \left(\frac{\pi\varphi}{\omega\lambda}\right)^2} = p\pi. \tag{2}$$

Ce résultat étant indépendant de la direction de la biréfringence, tout se passe comme si, le pouvoir rotatoire intervenant seul sans biréfringence, la rotation du plan de polarisation était multipliée par le coefficient $\sqrt{1 + \left(\frac{\pi\varphi}{\omega\lambda}\right)^2}$. La relation (2), qui définit la cannelure de rang p, s'applique à des longueurs d'onde croissant avec la biréfringence ; une augmentation de la biréfringence déplace ainsi les cannelures vers le rouge. Si l'axe du quartz est exactement perpendiculaire aux faces d'entrée et de sortie de la lumière, une même inclinaison, dans une orientation quelconque, introduit les mêmes variations de la biréfringence et correspond, par suite, au passage du même nombre de franges sur le fil du réticule.

2° *Les sections principales du polariseur et de l'analyseur font un angle différent de* $\frac{\pi}{2}$. — Le nicol analyseur n'arrête que les vibrations rectilignes normales à sa section principale ; il n'arrête donc pas les radiations qui satisfont à la condition (2) : $\frac{\pi\delta}{\lambda} = p\pi$. Il existe toutefois un groupe de radiations à vibrations rectilignes et parallèles, qu'il est possible d'arrêter avec l'analyseur. Ce sont les radiations pour lesquelles les diamètres conjugués a' et b' sont dans le prolongement l'un de l'autre ; elles satisfont à la condition : $\rho + 2\psi = p\pi$. Si l'analyseur fait avec le polariseur l'angle

$\left(2\psi + \frac{\pi}{2}\right)$ compté dans un sens convenable, le spectre est sillonné dans toute son étendue de cannelures à minima nuls. Si l'on fait varier la biréfringence sans changer l'angle ψ, ces cannelures se déplacent vers le rouge.

Ce cas diffère du précédent en ce que la position de l'analyseur, qui donne des franges à minima nuls, dépend à la fois de la direction du polariseur et de la direction de la biréfringence du quartz. En outre, les cannelures se déplacent si on fait varier la direction du polariseur sans changer la biréfringence; l'angle ψ intervient, en effet, dans la relation $\rho + 2\psi = p\pi$, qui sert à déterminer la longueur d'onde de la cannelure d'ordre p.

En particulier, lorsque le polariseur et l'analyseur sont parallèles, on n'obtient des cannelures nettes et à minima nuls que si $2\psi + \frac{\pi}{2} = \pi$ ou $\psi = \frac{\pi}{4}$, c'est-à-dire que si la direction de la biréfringence est à 45° de la direction principale du polariseur. En résumé, si le polariseur et la double réfraction du quartz conservent une orientation fixe, le nicol analyseur, en tournant d'un angle égal à 180°, passe par deux positions où les franges sont nettes dans toute l'étendue du spectre; les angles que fait la section principale de l'analyseur avec celle du polariseur sont alors $\frac{\pi}{2}$ et $2\psi + \frac{\pi}{2}$. Cette dernière position $\left(2\psi + \frac{\pi}{2}\right)$, obtenue expérimentalement, permet de déterminer l'angle ψ, c'est-à-dire l'orientation de la biréfringence par rapport à la section principale du polariseur [1].

---

[1] A la fin de mon mémoire publié dans les *Ann. de Ph. et Ch.*, 7e série, t. XIV, p. 526, j'ai dit, par inadvertance, une inexactitude. Je la cite en soulignant : « Il ne se produit de la lumière rectiligne que lorsque a' et b' sont dans une même direction; *mais cette direction varie d'une longueur d'onde à l'autre.* »

Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge;

Par M. R. Dongier.

I. *Introduction.* — J'ai entrepris la mesure de la dispersion rotatoire du quartz dans l'infra-rouge, à cause des contradictions existant entre les résultats les plus récents (*fig.* 1). A partir de

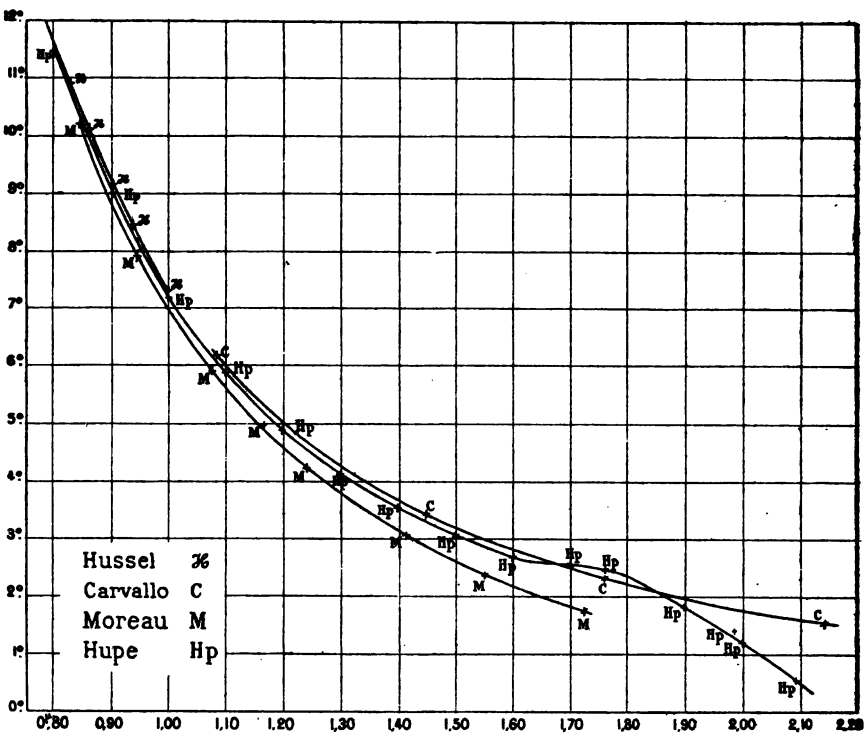

Fig. 1.

0μ,85, les nombres de M. Moreau (M) (1) sont plus faibles que ceux de M. Carvallo (C) (2), de M. Hupe (Hp) (3), et la différence augmente avec la longueur d'onde. Jusqu'à 1μ,87, les nombres de MM. Car-

(1) Moreau, *Annales de Ch. et de Phys.*, 6e série, t. XXX, p. 433; 1893.

(2) Carvallo, *Ann. de Ch. et Phys.*, 6e série, t XXVI, p. 113; 1892; — et *J. de Phys.*, 3e série, t. II, p. 438; 1893; et t. III, p. 93; 1894.

(3) Hupe, Die Rotationsdispersion ultrarother Strählen im Quartz (*Progr. der Realschule zu Charlottenburg.*, Ostern, 1894).

vallo et Hupe concordent sensiblement; pour de plus grandes longueurs d'onde, les valeurs de M. Hupe sont plus petites que celles de M. Carvallo. Les courbes de M. Moreau et de M. Hupe, extrapolées de manière à conserver la même allure générale, conduiraient à considérer le pouvoir rotatoire comme extrêmement faible, sinon nul, pour les longueurs d'onde supérieures à $2^{\mu},30$.

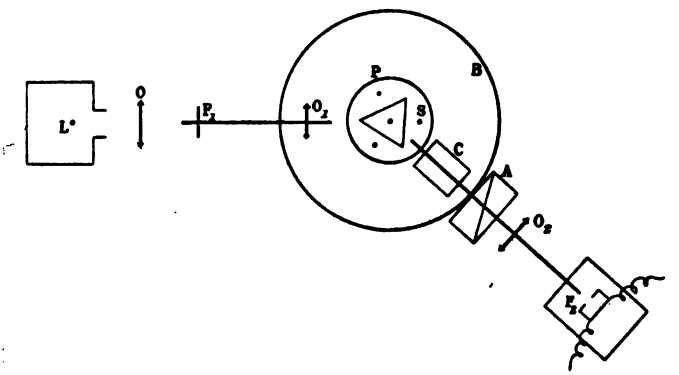

Fig. 2.

LÉGENDE

L, lampe à arc avec régulateur Foucault, disposée sur un support permettant deux mouvements de translation, l'un vertical, l'autre transversal. — O, lentille éclairante. — F_1, fente du collimateur. — O_1, lentille achromatique du collimateur. — S, prisme de spath, sert à la fois de polariseur et d'appareil de dispersion. — P, plate-forme du goniomètre. — B, cercle goniométrique. — C, canon de quartz. — A, analyseur biréfringent. — O_2, lentille achromatique de la lunette. — F_2, fente et pile thermoélectrique.

II. *Principe de la méthode et disposition expérimentale* (*fig.* 2). — Le charbon positif L d'un arc électrique fournit les radiations calorifiques; les rayons issus des différents points de son image, formée sur la fente F_1 par la lentille O, donnent, en émergeant du collimateur réglé pour l'infini, des faisceaux parallèles tombant sur le prisme de spath S, dont l'arête est parallèle à l'axe et qui sert à la fois de polariseur et d'appareil de dispersion. A la sortie du prisme S, les rayons rencontrent successivement le quartz épais C normal à l'axe, l'analyseur biréfringent A, la lentille objective O_2 et la pile thermoélectrique différentielle F_2, qui sont tous supportés par le même bras mobile du goniomètre. Le système interférentiel SCA et le système dispersif SO_2 produisent dans le plan de cette fente deux spectres purs juxtaposés

et à cannelures alternées. Ces spectres agissent séparément sur les deux moitiés de la pile thermoélectrique différentielle. Si la fente est dirigée de manière à donner accès à la même radiation λ dans l'un et dans l'autre spectre, la déviation galvanométrique obtenue est proportionnelle à la différence des intensités. Ces intensités sont représentées par $i\cos^2\alpha$ et $i\sin^2\alpha$ (i désigne l'intensité de la radiation avant la traversée de l'analyseur; α représente l'angle que forme, dans le sens du pouvoir rotatoire, la vibration émergeant du quartz avec la direction principale de l'analyseur). La différence $i(\cos^2\alpha - \sin^2\alpha) = i\cos 2\alpha$ est proportionnelle à la déviation galvanométrique y; elle varie avec l'angle α, c'est-à-dire avec la longueur d'onde de la radiation qui atteint la pile thermoélectrique. La variation de y est d'allure sinusoïdale; elle subit une période complète lorsque 2α varie de 2π. Dans cet intervalle on peut signaler deux groupes de valeurs importantes : l'un pour $\cos 2\alpha = \pm 1$, lorsque $2\alpha = p\pi$ et $2\alpha = p\pi + \pi$; l'autre pour $\cos 2\alpha = 0$, lorsque $2\alpha = p\pi + \frac{\pi}{2}$ et $2\alpha = p\pi + 3\frac{\pi}{2}$. Les radiations pour lesquelles ces relations sont satisfaites peuvent être adoptées comme repères, si on les caractérise par leurs indices dans le spath. M. Hupe [1] a fait l'application des repères pour lesquels $\cos 2\alpha = \pm 1$, c'est-à-dire pour lesquels y passe par un maximum en valeur absolue; le nicol analyseur employé par lui ne laissait passer que le faisceau extraordinaire.

En m'inspirant des recherches de M. Carvallo [2] sur la dispersion de la fluorine, j'ai choisi les repères pour lesquels $\cos 2\alpha$ est nul; ce sont les radiations $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$, qui correspondent à des déviations nulles du galvanomètre et qui subissent des rotations égales à :

$$\frac{\pi}{4}, \quad \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}, \quad \ldots, \quad \frac{\pi}{4} + (p-1)\frac{\pi}{2}, \quad \ldots,$$

lorsque le polariseur et l'analyseur sont parallèles ou croisés.

Pour ces repères, les meilleures conditions de sensibilité sont satisfaites; en effet, la dérivée de $\cos 2\alpha$, représentée par

$$-2\sin 2\alpha \frac{d\alpha}{d\lambda},$$

---

(1) Hupe, *loc. cit.*

(2) Carvallo, *Ann. de Ch. et de Phys.*, 7e série, t. IV, p. 5; 1895.

est proportionnelle à la dérivée $\frac{dy}{d\lambda}$ de la déviation galvanométrique, et le coefficient sin 2α prend alors sa plus grande valeur absolue égale à l'unité. Le procédé expérimental, qui mesure la déviation galvanométrique avec une précision toujours la même et égale à Δy, permet d'aborder la mesure de λ avec une approximation d'autant meilleure que $\Delta\lambda$ est plus faible, c'est-à-dire que $\frac{\Delta y}{\Delta\lambda}$, ou à la limite $\frac{dy}{d\lambda}$, est plus grand.

Cette méthode présente, sur la méthode de Desains (1), dont MM. Carvallo (2) et Moreau (3) ont fait usage, l'avantage que l'erreur expérimentale porte seulement sur la mesure de la longueur d'onde; les valeurs de la rotation du plan de polarisation sont, en effet, *rigoureusement* déterminées. Dans la méthode de Desains, l'erreur expérimentale porte à la fois sur la rotation du plan de polarisation et sur la mesure de la longueur d'onde.

III. *Conditions à satisfaire. — Contrôle des expériences.* — Les réglages systématiques que l'on effectue ont pour but de remplir les conditions suivantes que je ne ferai qu'énoncer (4) :

1° Le quartz et l'analyseur doivent être traversés normalement à leurs faces par le faisceau monochromatique qui a accès dans la fente de la pile thermoélectrique;

2° On doit réaliser le parallélisme de la fente collimatrice, de l'arête du prisme et de la section principale de l'analyseur avec l'axe de rotation de la plate-forme. S'il en est ainsi, l'arête du prisme, qui sert d'origine à la vibration incidente, est très exactement répérée par rapport à la section principale de l'analyseur; de plus, comme alors les deux images de la fente collimatrice données en lumière monochromatique par l'analyseur biréfringent se prolongent exactement, la fente de la pile thermoélectrique peut être réglée, en largeur et en direction, de manière à permettre l'accès sur la pile de la totalité des rayons de chacune de ces images;

---

(1) Desains, *C. R. de l'Ac. des Sciences*, t. LXXXIV, p. 1059. Il est juste de rappeler que Desains a fait les premières expériences sur le pouvoir rotatoire dans l'infra-rouge.

(2) Carvallo, *loc. cit.*

(3) Moreau, *loc. cit.*

(4) L'exposé de ces précautions est développé dans le mémoire complet (*Ann. de Ch. et Phys.*, 7e série, t. XIII, p. 331; 1898).

3° Les déviations galvanométriques sont observées pour des positions du bras mobile du goniomètre, séparées les unes des autres d'angles variant entre $\frac{3}{2}$ minutes et 3 minutes. Les radiations qui pénètrent dans la fente de la pile thermoélectrique doivent traverser le prisme de spath dans la direction du minimum de déviation; le prisme ayant pour section droite un triangle équilatéral, on arrive à ce résultat en formant, dans le voisinage immédiat de la fente thermoélectrique, l'image de la fente collimatrice produite par les rayons réfléchis sur la base du prisme;

4° Les mesures doivent être effectuées dans des régions du spectre où le dichroïsme de l'analyseur biréfringent n'intervient pas (1); les deux spectres doivent subir, en effet, des absorptions identiques de la part des différentes parties du système optique. Il en est ainsi lorsque les courbes qui joignent les points maxima et les points minima de la courbe des indications galvanométriques en fonction des déviations goniométriques sont exactement symétriques l'une de l'autre par rapport à l'axe des x;

5° On évite les différences d'absorption et on atténue les imperfections optiques des surfaces, en maintenant dans une position fixe le charbon positif de l'arc électrique; le faisceau traverse ainsi, pendant la durée d'une série de déterminations s'appliquant à tout le spectre, les mêmes portions des surfaces du système optique. De plus, la température du charbon positif étant indépendante de l'intensité du courant (2), on peut être assuré de la constance de l'intensité calorifique, quelle que soit la durée des mesures.

IV. *Discussion de la méthode.* — Les résultats expérimentaux devraient être acceptés sans modification, si les conditions qui viennent d'être énoncées étaient rigoureusement satisfaites; mais il ne peut en être ainsi. Remarquons, par exemple, que, si le faisceau des rayons issus du point central de la fente est normal aux faces du quartz et de l'analyseur, il n'en est pas de même de tout autre faisceau issu d'un autre point de la fente. La discussion des mesures comporte donc la recherche de l'influence de la hauteur et de la largeur de la fente, de même que l'effet des imperfections optiques

(1) Merritt, On the absorption of certain crystals in the infra-red as dependent on the direction of the plane of polarisation (*Physical Review*, vol. II, p. 424; 1895).

(2) Violle, *C. R.*, t. CXV, p. 1273.

des surfaces. Cette discussion a été développée dans le mémoire complet déjà cité (1). Il suffit de rappeler que, parmi les causes d'erreur, une seule, celle provenant de la réfraction inclinée à travers le prisme de spath des faisceaux issus des différents points de la fente, en dehors du point central, introduit des écarts (3 unités de la cinquième décimale de l'indice) de l'ordre de grandeur de la précision (5 unités de la cinquième décimale) qui est fixée par la lecture du cercle goniométrique.

V. *Résultats des expériences et conclusions.* — Les mesures ont été effectuées avec deux quartz droits épais, très purs, tirés d'un même échantillon et taillés normalement à l'axe par M. Jobin. L'un d'eux ayant $60^{mm},755$ d'épaisseur à 15° a été observé dans le spectre ordinaire du spath jusqu'à l'indice $n_0 = 1,63009$ ($\lambda = 1^{\mu},744$). L'autre, ayant $27^{mm},049$ d'épaisseur à 20°, a été observé dans le spectre ordinaire du spath pour une seule radiation d'indice $n_e = 1,47446$ ($\lambda = 2^{\mu},20$). J'ai passé des indices aux longueurs d'onde, en utilisant les mesures récentes de M. Carvallo sur la dispersion du spath (2).

La première partie du tableau suivant contient mes résultats, ainsi que les valeurs du pouvoir rotatoire calculées à l'aide de la formule de M. Carvallo : $\rho = \frac{11,976n^2 - 21,027}{\lambda^2}$ (n est l'indice ordinaire du quartz déduit des récentes mesures de cet auteur (2) ; λ est exprimé en microns).

La seconde partie de ce tableau contient les résultats de M. Carvallo (3), modifiés en rapportant les longueurs d'onde aux plus récentes mesures de la dispersion du spath.

n_0 du spath	Valeurs de λ anciennement adoptées	Valeurs nouvelles de λ	n_0 du quartz	ρ calculé	ρ observé (Dongier)	Obs.-calc.
1,64997	....	$0^{\mu},761$	1,53915	12°,681	12°,59	0,090
1,64836	....	0 ,810	1,53815	11 ,116	11 ,11	0,006
1,64672	....	0 ,868	1,53711	9 ,648	9 ,63	0,018
1,64494	....	0 ,940	1,53595	8 ,178	8 ,14	0,038
1,64292	....	1 ,035	1,53451	6 ,696	6 ,66	0,036
1,64031	....	1 ,170	1,53268	5 ,191	5 ,18	0,011
1,63682	....	1 ,369	1,53011	3 ,740	3 ,70	0,040
1,63009	....	1 ,744	1,52478	2 ,241	2 ,22	0,021
e du spath						
1,47446	....	2 ,20	1,51757	1 ,35	1 ,66	0,31

(1) *Annales de Ch. et de Phys.*, 7e série, t. XIII, p. 331.
(2) *C. R.*, t. CXXVI, p. 728 et 950 (mars 1898).
(3) *Loc. cit.*

n_0 du spath	Valeurs de λ anciennement adoptées	Valeurs nouvelles de λ	n_0 du quartz	ρ calculé	ρ observé (Carvallo)	Obs.-calc.
1,64245	1^{μ},08	1^{μ},057	1,53428	6 ,410	6 ,18	0,23
1,63620	1 ,45	1 ,405	1,52932	3 ,529	3 ,43	0,099
1,63083	1 ,77	1 ,704	1,52534	2 ,364	2 ,28	0,084
1,62415	2 ,14	2 ,030	1,52087	1 ,619	1 ,60	0,019

Mes résultats expérimentaux dans le spectre ordinaire du spath vérifient la formule de M. Carvallo d'une façon remarquable, beaucoup mieux que les résultats expérimentaux de M. Carvallo lui-même. Cette concordance, très approchée entre la théorie et l'observation, peut être considérée comme un contrôle, *a posteriori*, de l'exactitude de ces nombres.

La détermination relative à 2^{μ},20 ne concorde avec la formule que si l'on admet l'existence d'une erreur égale à 0°,31. Cet écart est supérieur aux erreurs prévues ; il justifie de nouvelles expériences de contrôle, et peut-être devrait-il être expliqué par l'introduction de termes supplémentaires dans les équations différentielles qui ont servi de point de départ aux recherches de M. Carvallo. Toutefois si, d'une part, ce nombre mérite d'être discuté, il présente, d'autre part, de l'intérêt au point de vue qualitatif, puisque les observations de M. Moreau et de M. Hupe semblaient ne pas en permettre l'existence.

Transformations des rayons X par la matière ;

Par G. Sagnac (1).

Un faisceau de rayons X traverse la matière sans dévier de la ligne droite (2). Mais chaque élément de matière situé sur le trajet du faisceau émet en tous sens ce que j'ai appelé des *rayons secondaires S;* les rayons secondaires se disséminent à leur tour sur la matière en donnant naissance à des *rayons tertiaires T*. Les dénominations tertiaires, secondaires, etc., rappellent bien les modes de

(1) Séances du 17 décembre 1897 et du 18 mars 1898.

(2) Les *résultats positifs* souvent annoncés relativement à la déviation des rayons X ne sont que des illusions dues à la formation des pénombres et aux propriétés des couches sensibles photographiques (Voir G. Sagnac, *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 169 ; 1897 ; — et *Bulletin de la Société Française de Physique*).

production successifs des rayons disséminés. D'ailleurs, les rayons secondaires, tertiaires, etc., tout en possédant les caractères fondamentaux des rayons X, forment une succession de rayons de plus en plus différents des rayons X *primaires*, dont ils constituent des *transformations de plus en plus profondes*. Souvent ce sont des *rayons nouveaux*, très différents de tous les rayons X jusqu'ici émis par les tubes à vide.

Avant la publication de mes expériences sur les transformations des rayons X par la matière, on avait parfois constaté que des corps frappés par les rayons X les disséminaient. Mais on ignorait l'action électrique des rayons disséminés, et l'on n'avait que des notions fort vagues sur leur propagation à distance et surtout sur leur nature. Certains observateurs croyaient que les corps polis réfléchissaient régulièrement les rayons X. D'autres voyaient bien là une dissémination; mais plusieurs, généralisant à tort quelques cas particuliers, et notamment un résultat remarquable de Winkelmann et Straubel relatif au spath-fluor, croyaient avoir affaire à des rayons lumineux ultra-violets; la plupart, et, parmi eux, Röntgen, considéraient que les corps renvoient les rayons X sans altérer leur nature. Röntgen, dans son dernier mémoire, s'est posé la question de savoir si le phénomène est analogue à la réflexion diffuse ou à la fluorescence, mais sans pouvoir la résoudre [1].

J'exposerai succinctement dans cet article :

Les *analogies* étroites des rayons S et des rayons X, les caractères qui les différencient des rayons ultra-violets actuellement connus; les *différences* tantôt faibles, tantôt très profondes entre les rayons S et les rayons X primaires; comment la *nature des divers rayons S* dépend de leur mode de production et comment les *intensités relatives* de leurs effets dépendent de la nature du récepteur qui les enregistre; le mode de production des *rayons S par transmission*, leur

---

[1] Voici le passage où il le déclare : « Die Frage, ob die von den bestrahlten Körpern ausgehenden Strahlen derselben Art sind wie die auffallenden oder, mit anderen Worten, ob eine diffuse Reflexion oder ein der Fluorescenz ähnlicher Vorgang die Ursache dieser Strahlen ist, habe ich noch nicht entscheiden können » (Röntgen, 3e mémoire, *Wiedemann's Annalen*, t. LXIV, p. 19-20).

Mes premiers résultats, relatifs à la transformation des rayons X, datent de décembre 1896. Je les ai publiés aux *Comptes Rendus* du 19 et du 26 juillet 1897, aussitôt que j'ai eu connaissance du mémoire de Röntgen par sa publication dans *l'Eclairage électrique* du 17 juillet 1897. Mes autres notes aux *Comptes Rendus* datent du 6 décembre 1897; du 3 janvier, du 7 février, du 14 février, du 21 mars et du 4 juillet 1898.

émission par les corps opaques *dans une couche superficielle* parfois très mince; l'intervention des rayons S dans des *phénomènes anomaux* jusqu'alors inconnus : *influence de la distance* entre le récepteur et un obstacle sur la transparence apparente de l'obstacle pour les rayons X, *influence de l'ordre* d'un système d'obstacles sur la transparence apparente du système; l'application de l'action électrique des rayons S au *mécanisme de la décharge* des conducteurs électrisés frappés par les rayons X; enfin l'*émission des rayons tertiaires* et les conséquences qui me paraissent résulter de tous ces phénomènes, en ce qui concerne la *nature des rayons X.*

1. *L'action des rayons secondaires sur chacun des trois récepteurs :* écran luminescent au platinocyanure de baryum, plaque ou pellicule photographique, électroscope, employés pour reconnaître les rayons X, se démontre en protégeant l'écran luminescent ou la couche photographique *ee* (*fig.* 1), ou bien l'électroscope C (*fig.* 2), par un écran de plomb EE, contre les rayons X directs.

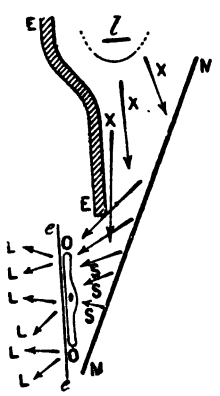

Fig. 1.

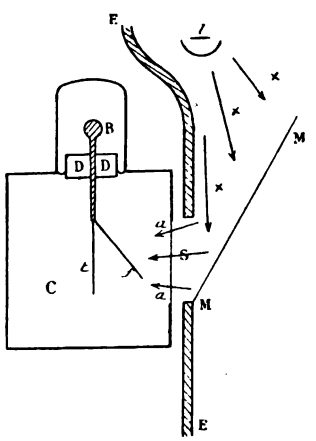

Fig. 2.

L'écran *ee* (*fig.* 1) s'illumine nettement dès qu'on expose en MM, aux rayons X issus d'un tube focus, une *matière quelconque.* La couche photographique *ee* est impressionnée, en quelques minutes par exemple, par les rayons secondaires S émis par une lame MM d'un métal lourd tel que le cuivre, le zinc. Les rayons secondaires S de tels métaux déchargent très rapidement l'électroscope (*fig.* 2); ils font disparaître, par exemple, en une seconde, une

grande déviation de la feuille d'or *f*; dans cette expérience, les rayons S pénètrent dans la cage de l'électroscope à travers une mince feuille *aa* en aluminium battu, qui empêche les lignes de force issues de *f* de sortir de l'électroscope.

Avec des corps relativement légers et transparents, tels que l'aluminium, le soufre, l'ébonite, la paraffine, on produit des rayons secondaires illuminant l'écran au platinocyanure de baryum avec une intensité inférieure, mais comparable à celle que produisent les rayons S des corps lourds; au contraire, l'action photographique et l'action électrique se manifestent bien plus lentement avec les corps légers qu'avec les corps lourds. Cette différence entre les corps légers et les corps lourds est surtout grande quand les rayons X excitateurs, issus du tube focus, sont peu pénétrants. Elle s'atténue à mesure que l'on utilise un tube à rayons X fonctionnant de plus en plus *durement* (1).

2. *Analogies des rayons S et des rayons X.* — L'action électrique à travers l'aluminium caractérise les rayons S comme voisins des rayons X incidents. Les trois modes d'action distinguent d'ailleurs les rayons S des rayons ultra-violets connus, car ces actions s'exercent encore à travers une feuille d'aluminium ou de papier noir.

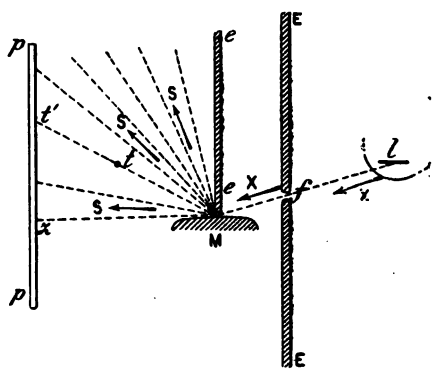

Fig. 3.

L'action photographique des rayons S permet de justifier l'expression de *rayon* et de démontrer que *les rayons S se propagent très*

(1) Les expériences qui suivent ont été faites en excitant des tubes focus à l'aide d'une bobine de Ruhmkorff à interrupteur de Deprez, sans intercaler d'étincelle sur le circuit secondaire.

exactement en ligne droite et sont émis *en tous sens* autour des points de la matière frappés par les rayons X.

Dans l'expérience représentée par la *fig.* 3, la surface métallique M reçoit de la lame focus *l* un pinceau de rayons X défini par la fente *f* de l'écran de plomb EE et, en outre, pour plus de précautions, par le bord inférieur de l'écran de plomb *ee*, très voisin de la surface M. La plaque photographique n'enregistre pas de faisceau réfléchi, même si la surface M est formée par un *bain de mercure* bien immobile et si l'incidence des rayons X est portée à 75°. Mais, de la région de M située près du bord inférieur de *ee* s'éparpillent *en tous sens* des rayons S qui projettent en *t' l'ombre d'une tige* opaque *t* (aiguille) et impressionnent la plaque *pp* jusqu'à une *ligne droite z*. Cette dernière particularité se constate, avec quelques minutes de pose seulement, si l'on expose aux rayons X toute la surface d'un petit miroir métallique M bien plan de quelques centimètres carrés de surface (*fig.* 4); l'impression photographique est toujours limitée sur la plaque *pp* à une ligne *z* nette et rectiligne, quelle que soit l'orientation de la surface *pp* et située dans le plan du miroir; il y a donc une *nappe plane* Z de rayons rectilignes S envoyés par la tranche du miroir M. A ce point de vue, l'émission secondaire du miroir M est comparable à l'émission des rayons X primaires par la lame focus *l*.

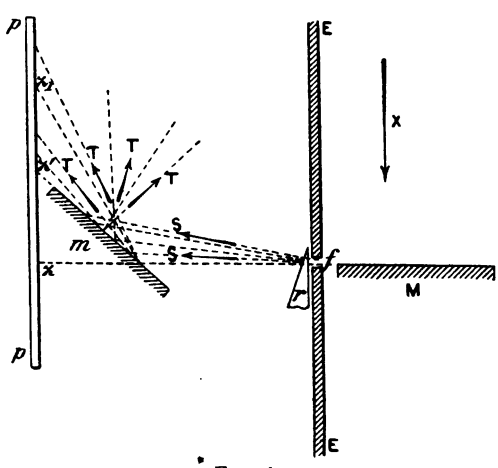

FIG. 4.

Un *prisme* mince *r*, en paraffine par exemple, recevant à travers la fente *f* (*fig.* 4) la nappe plane Z des rayons S émis suivant la tranche

du miroir M la laisse passer sans déviation. Un *second miroir m* l'arrête, mais ne la réfléchit pas. Du miroir *m* partent en tous sens des *rayons tertiaires T*, qui impressionnent *pp* jusqu'à la droite *z'*, située dans le plan de *m*.

La propagation rectiligne très parfaite des rayons S, sans réfraction, ni réflexion régulière, leur propriété de décharger énergiquement les corps électrisés, quel que soit le signe de la charge, les placent dans *la même famille* que les rayons X incidents. Mais nous allons voir qu'ils ne leur sont *pas identiques*.

3. *Caractère fondamental de la transformation des rayons X.* — L'électroscope C (*fig.* 5) ne peut recevoir, à travers la feuille d'aluminium battu *a'b'*, que des rayons compris dans le cône *a'd'*, *b'c'* défini par les ouvertures o'_1, o'_2 des écrans de plomb E_1', E'_2. La lame focus *l* n'envoie de rayons X que dans le cône *ac*, *bd*, défini par les ouvertures o_1, o_2 des écrans de plomb E_1, E_2. La feuille d'or *f* ne peut donc être déchargée que par des rayons secondaires excités par les rayons X dans l'espace M limité à *ekgh*, commun aux deux cônes précédents (1).

Lorsque l'air atmosphérique est la seule matière qui remplisse l'espace M, la feuille d'or *f* présente déjà un léger mouvement de chute quand on excite le tube à rayons X. Ce sont alors les rayons S de l'air qui agissent (2). L'effet est d'ailleurs très faible par rapport à celui que donneraient les rayons X, d'autant plus que le volume d'air M, qui participe à la dissémination des rayons X n'est, par exemple, que de 1 décimètre cube. Je l'ai cependant constaté dans ces conditions, en observant la feuille d'or *f* au moyen d'un viseur à court foyer. Je me suis assuré, d'ailleurs, que les bords métalliques des écrans employés n'avaient pas d'influence sensible dans cette expérience.

La chute de la feuille d'or *f* devient plus rapide dès qu'on place dans l'espace M une lame LL de paraffine, de soufre, d'alumi-

---

(1) Le verre du tube à vide émet aussi des rayons X dans la région *e'k'g'h'*; mais ces rayons beaucoup plus faibles ne peuvent entrer, avec le dispositif adopté, par l'ouverture o'_2, et même les rayons S qu'ils pourraient exciter sont généralement négligeables.

(2) Röntgen avait déjà observé, au moyen de l'écran au platinocyanure de baryum, la dissémination des rayons X par l'air (3e mémoire). Bien avant la publication du troisième mémoire de Röntgen, j'étudiais déjà ce phénomène ; la faiblesse de l'effet observé me conduisit naturellement à approfondir d'abord l'action rayonnante des corps solides, et surtout des métaux lourds.

nium, etc., et bien plus rapide encore avec une lame LL de cuivre, de zinc, de plomb, etc. On peut alors l'étudier facilement et avec précision.

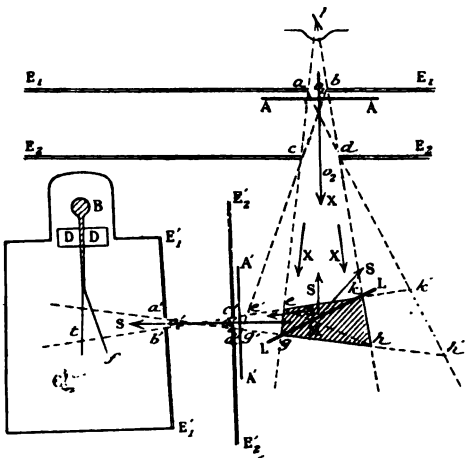

FIG. 5.

L'action de décharge des rayons S sur l'électroscope C est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au temps nécessaire pour que l'image de la feuille d'or f dans une lunette-viseur se déplace sur un micromètre oculaire, dont est muni le viseur, d'une *même* division n_1 à une *même* division n_2. Soit t cette durée de chute de f, lorsque les rayons X sont obligés, avant de tomber sur LL, de traverser une lame A, en aluminium, ébonite, mica ou paraffine, placée contre l'ouverture o_1. Soit de même t' la durée de la *même* chute de f lorsque la *même* lame est transportée en A′ devant l'ouverture o'_1 *sur le trajet des rayons S*. Le dispositif de la *fig.* 5 est tel que les incidences diverses des rayons X sur A, d'ailleurs peu écartées de l'incidence normale, correspondent suffisamment bien aux incidences diverses des rayons S sur A′, de manière que les rayons X et les rayons S ont été filtrés successivement par la même lame sous les mêmes épaisseurs. Or on trouve $t' > t$, c'est-à-dire que la même lame A se montre plus opaque pour les rayons S que pour les rayons X. Il y a plus : on ne peut même pas dire que les rayons X les plus absorbables ont été *diffusés* sans transformation en proportion plus grande que les rayons X les plus pénétrants ; alors, en effet, les rayons X, n'ayant pas changé de *nature*, il devrait être indifférent de les filtrer

par la même lame A *avant* ou *après* leur diffusion. Il faut donc conclure : *La matière transforme les rayons X en rayons plus absorbables que les rayons excitateurs.* L'expression positive $c = \frac{t'}{t} - 1$ caractérise le degré de transformation des rayons X ; on peut lui donner le nom de *coefficient de transformation.* Sa valeur est définie pour chaque espèce de matière et pour un faisceau de rayons X donné, lorsqu'on maintient invariables l'épaisseur de la lame filtrante A, les conditions géométriques de l'expérience, la pression et la nature du gaz au sein duquel on opère, les dimensions de l'électroscope et la nature de ses parois.

4. *Influence de la nature de la matière sur le degré de transformation des rayons X.* — Si la lame A est, par exemple, une feuille d'aluminium de $0^{mm},3$, on a des coefficients c faibles pour les rayons S des corps peu opaques aux rayons X, mais importants pour les métaux lourds (5 ou 10 par exemple). Il est facile de constater que les rayons S du cuivre, du zinc, du plomb, etc., sont arrêtés à peu près complètement par une plaque d'aluminium A′ qui, transportée en A, laisse encore passer assez de rayons X pour que la feuille d'or *f* se décharge très nettement. Sous cette forme, l'expérience se répète très bien en remplaçant l'électroscope par une *plaque photographique.*

Les rayons secondaires les plus absorbables sont, en général, ceux des corps denses et assez opaques aux rayons X, ceux des métaux lourds en particulier. L'action photographique des rayons S du cuivre est légèrement affaiblie par le papier noir, celle des rayons du zinc l'est davantage, l'action des rayons du plomb est en majeure partie arrêtée; mais il n'en est ainsi qu'à une très petite distance de la surface du métal (1 ou 2 millimètres dans ces expériences photographiques dont je n'indique ici que le résultat). Si l'on s'éloigne du métal, on reçoit des rayons S de moins en moins absorbables. Cela tient à ce que les premières couches d'air voisines du métal arrêtent les rayons les plus absorbables du *faisceau complexe de rayons S.* Nous devons donc remarquer que les coefficients c, fournis par l'expérience de la *fig.* 5, n'expriment que les degrés de transformation des rayons S reçus dans l'électroscope, après avoir été dépouillés par l'air de leur partie la plus absorbable. Cependant les coefficients c sont, en général, très notables. On constate aisément qu'en éloignant l'électroscope C du métal rayonnant (*fig.* 2

et *fig.* 5) l'affaiblissement de l'action électrique *dans les mêmes conditions* varie d'un métal à l'autre, ce qui met en évidence l'absorption des rayons S par l'air. Par exemple, en éloignant l'entrée *aa* de l'électroscope (*fig.* 2) de 1 centimètre à 3 centimètres de distance du métal rayonnant, on diminue assez peu l'action électrique des rayons S du cuivre ou du zinc, tandis qu'on réduit d'environ moitié celle des rayons du plomb. En même temps, les rayons S, que le plomb envoie dans la cage de l'électroscope, ont un coefficient *c* de transformation plus faible et un pouvoir de pénétration plus grand. Ces particularités, qui démontrent l'hétérogénéité du faisceau des rayons S, s'observent très bien en comparant ce faisceau à celui qui est transmis par une feuille d'aluminium ou de mica.

5. *Influence de la nature du récepteur.* — On peut répéter, avec l'écran au platinocyanure de baryum, l'expérience fondamentale de la *fig.* 5, qui caractérise la transformation des rayons X par un métal lourd, tel que le cuivre, le zinc, le plomb. Mais elle est moins frappante; le degré de transformation est moins bien mis en évidence par l'écran luminescent que par la plaque photographique ou l'électroscope. Cette particularité s'explique bien, si l'on admet que la couche sensible photographique et l'électroscope sont sensibles surtout aux rayons les plus absorbables et très peu aux rayons les plus pénétrants, tandis que la couche de platinocyanure se rapproche beaucoup plus du récepteur idéal qui enregistrerait des effets proportionnels aux *énergies* relatives des rayons incidents. Effectivement les rayons S, peu transformés et presque aussi pénétrants que les rayons X primaires, qu'émettent les corps légers (aluminium, ébonite, paraffine, etc.), ont des actions photographiques ou électriques très faibles vis-à-vis de celles des rayons S bien plus absorbables du cuivre, du zinc, du plomb, etc., tandis qu'ils n'illuminent pas beaucoup moins que ceux-ci le platinocyanure de baryum; on peut dire que les rayons S de l'aluminium sont aux rayons S du zinc ce que les rayons X d'un tube très *dur* sont aux rayons X plus absorbables d'un tube très *doux* [1]; l'influence de la nature du récepteur s'explique de la même manière dans les deux cas.

6. *Transformations des rayons X par transmission.* — Dans l'expé-

[1] Voir la comparaison des actions des tubes *durs* et *doux* sur la plaque photographique et l'écran fluorescent dans le troisième mémoire de Röntgen (*Eclairage électrique*, t. XII, p. 166).

rience de la *fig.* 5, tournons de *gk* en *eh* la lame LL, qui émettait des rayons S par la face d'entrée des rayons X. Si la lame est assez mince pour laisser passer des rayons X, la face de sortie des rayons X, qui regarde maintenant l'électroscope C, émet à son tour en tous sens des rayons secondaires S′ qui ne diffèrent pas essentiellement des rayons S émis par la face d'entrée. On constate que les rayons S′ proviennent de la *transformation* des rayons X en filtrant successivement les rayons X, puis les rayons S′, par une même lame de matière placée d'abord en AA, puis en A′A′, comme dans l'expérience du § 3. La durée d'une même chute de la feuille d'or est plus grande dans le second cas que dans le premier. Les mêmes expériences se répètent avec la plaque photographique ou l'écran luminescent, mis à la place de l'électroscope C ; comme pour les rayons S, la transformation n'est facilement visible au moyen de la plaque photographique ou de l'écran luminescent que si la lame LL employée est un corps lourd et absorbant, par exemple une feuille de zinc, d'étain, etc., d'épaisseur comparable au centième de millimètre. Les remarques des §§ 4 et 5 sur l'influence de la nature du corps et l'influence de la nature du récepteur peuvent être répétées ici.

Si les rayons X traversent un système de deux ou plusieurs lames superposées de *matières différentes*, une méthode très générale pour démontrer que les rayons S′, disséminés au-delà de la face de sortie des rayons X, ne sont pas identiques aux rayons X incidents, consiste à *changer l'ordre des lames du système* et à constater que l'action *électrique* des rayons S′ en est affectée. Cette *influence de l'ordre des lames* superposées sur l'action électrique des rayons secondaires disséminés au-delà de la dernière lame est, en général, très importante dans le cas de deux lames L et L′, formées l'une d'une matière légère et peu opaque, l'autre d'une matière lourde et absorbante. On constate, par exemple, que l'ensemble d'une lame d'aluminium de 1/3 de millimètre d'épaisseur et d'une lame de zinc de $\frac{1}{20}$ de millimètre émet des rayons secondaires par transmission *considérablement plus actifs* sur l'électroscope, quand le système est traversé par les rayons X dans l'ordre Al, Zn, que si l'on retourne le système dans l'ordre Zn, Al ; le phénomène est encore très net si l'on emploie la plaque photographique, et se voit encore facilement si l'on emploie l'écran luminescent.

7. *Production des rayons secondaires à l'intérieur de la matière.* — On n'affaiblit pas l'émission des rayons secondaires antérieurs S, et l'on augmente progressivement celle des rayons postérieurs S′, en amincissant la lame LL (*fig.* 5) jusqu'à une certaine épaisseur *e*. Mais, si l'on diminue progressivement l'épaisseur de la lame au-dessous de *e*, l'émission des rayons S et bientôt celle des rayons S′ s'affaiblissent, d'abord lentement, puis très vite. C'est-à-dire que chaque particule de matière atteinte par les rayons X émet un rayonnement secondaire qui ne peut traverser une épaisseur de matière supérieure à *e*. Si l'épaisseur de la lame LL ne dépasse pas *e*, chaque particule de matière rayonne à la fois à travers chaque face de la lame. Pour une épaisseur supérieure à *e*, il y a une couche de matière d'épaisseur *e*, attenante à la face d'entrée des rayons X, qui émet seule les rayons secondaires antérieurs S et une couche analogue, attenante à la face de sortie, qui émet seule les rayons postérieurs S′.

L'épaisseur de chaque *couche d'émission* est d'autant plus faible que le corps est plus opaque pour les rayons X et pour les rayons secondaires. Ainsi, tandis que l'air traversé par les rayons X rayonne dans toute sa masse, l'aluminium ne rayonne que dans une couche d'environ 1 millimètre d'épaisseur, et l'or, dans une couche d'un demi-micron seulement.

Pour les corps, tels que l'or, qui émettent des rayons secondaires extrêmement différents des rayons X incidents, l'épaisseur de la couche d'émission est considérablement plus faible que l'épaisseur du corps nécessaire pour arrêter complètement les rayons X. Dans les phénomènes de fluorescence étudiés autrefois par Herschel sous le nom de *diffusion épipolique*, l'existence d'une couche superficielle seule active est due à ce que le faisceau lumineux incident est complètement dépouillé dans cette couche de certains rayons seuls capables d'exciter la fluorescence. Dans les phénomènes d'*émission secondaire*, les rayons X qui ont traversé déjà une épaisseur de matière supérieure à *e* se transforment encore en rayons secondaires en émergeant du corps ; la minceur de chaque couche active est due ici non pas au faible pouvoir de pénétration des rayons incidents, mais à celui des rayons transformés. Une particule de matière, éloignée de plus de *e* de la surface d'entrée et de la surface de sortie des rayons X, a son rayonnement secondaire étouffé par l'absorption ambiante. C'est sans doute l'*énergie* ainsi *emmagasinée dans la masse profonde* qui produit l'échauffement du corps sous

l'influence des rayons X, échauffement mis en évidence par M. Dorn [1]. C'est assurément la plus grande partie de l'énergie des rayons X qui se transforme ainsi en chaleur dans un corps très absorbant comme l'or. Les rayons S émis par une mince couche superficielle ne représentent qu'une *faible partie de l'énergie* des rayons X incidents.

8. *Effets secondaires et effets primaires.* — Par une sorte de compensation très remarquable, le faible pouvoir de pénétration de ces rayons S, qui a limité leur couche d'émission à une si faible épaisseur, leur permet d'être fortement absorbés par les couches sensibles photographiques ou l'air qui environne un conducteur électrisé ; aussi arrive-t-il souvent que les actions photographiques ou électriques de ces rayons S, très absorbables, atteignent et même dépassent les actions produites par les rayons X dont ils proviennent. L'*effet secondaire* dû aux rayons S peut alors, si les rayons S sont mélangés aux rayons X dont ils proviennent, augmenter beaucoup, doubler, par exemple, l'*effet primaire* dû aux rayons X incidents. Cette augmentation relative est au contraire assez faible si le récepteur employé est un écran au platinocyanure de baryum, et les rayons S sont alors difficiles à déceler *tant qu'ils sont mélangés aux rayons X*, ce qui s'accorde bien avec les particularités indiquées au § 5. Aussi convient-il d'employer comme récepteur une couche sensible photographique ou un électroscope pour observer *facilement* les anomalies qui vont être signalées.

9. *Influence de la distance du récepteur à un obstacle sur la transparence apparente de l'obstacle pour les rayons X.* — Le coefficient de transmission des rayons X pour une lame de matière doit, sous peine d'erreur notable, être mesuré en plaçant l'électroscope ou la plaque photographique suffisamment loin de la lame pour que les rayons S disséminés au-delà de la lame ne puissent atteindre le récepteur. J'ai constaté, par exemple, qu'une feuille de zinc de 5 centièmes de millimètre d'épaisseur qui, placée à $5^{cm},5$ d'une toile métallique *tt* fermant *électriquement* l'entrée d'un électroscope, transmettait la fraction 0,10 de l'action de décharge d'un certain tube focus, en transmettait, en apparence, la fraction 0,13, lorsqu'elle était placée contre la toile *tt*. Une feuille d'or battu placée contre la

---

[1] *Wiedemann's Annalen*, 11 décembre 1897, p. 160. — Mémoire analysé au *Journal de Physique*, 3e série, t. VII, p. 355; 1898.

toile donnait un effet secondaire qui compensait, et au delà, l'*absorption réelle* des rayons X par la même feuille, en sorte que l'action des rayons X paraissait légèrement *augmentée* par l'interposition de la feuille d'or.

D'après ce que j'ai dit au § 8, il n'y a pas à s'étonner que Röntgen, en employant l'écran au platinocyanure de baryum, n'ait pas réussi à observer les phénomènes précédents, comme il le déclare lui-même dans son dernier mémoire (1).

10. *Influence de l'ordre d'un système d'obstacles sur la transparence apparente du système pour les rayons X.* — Nous avons vu (§ 6), que le système (aluminium-zinc) émet par transmission des rayons secondaires beaucoup plus intenses que s'il est traversé par les rayons X dans l'ordre inverse (zinc-aluminium). Si les rayons S sont mêlés aux rayons X, la transparence *apparente* du système (Al-Zn) sera donc plus grande que la transparence du système (Zn-Al). J'ai trouvé, par exemple, 1,73 pour le rapport des deux coefficients de transmission, lorsque le système des deux lames ferme l'entrée de l'électroscope, l'épaisseur de l'aluminium étant 55 centièmes de millimètre, et celle du zinc 5 centièmes de millimètres. Naturellement le rapport des deux coefficients de transmission pour les deux systèmes (Al-Zn) et (Zn-Al) est inférieur à 1,73, si le système des deux lames métalliques est placé à une certaine distance *d* d'une toile métallique *tt* fermant l'électroscope, et il se rapproche d'autant plus de l'unité que la distance *d* est plus grande (Cf. § 9). L'influence de l'ordre des écrans est encore visible pour une distance *d*, comparable aux dimensions de la toile métallique *tt* (quelques centimètres par exemple).

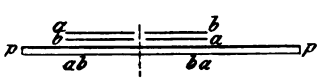

Fig. 6.

Pour observer *photographiquement* l'influence de l'ordre des lames sur leur transparence apparente, il suffit de disposer sur la couche sensible *nue* d'une plaque photographique *pp* (*fig.* 6) un système de

(1) « Quant au fait que les corps qui reçoivent des rayons émettent à leur tour des rayons X, je dois dire... qu'en appliquant une lame d'aluminium de 0mm,925 d'épaisseur contre l'écran ou en la maintenant à grande distance, on ne produisait pas de variation sensible dans l'éclat de la fluorescence » (Röntgen, 3e mémoire, *Eclairage électrique*, t. XII, p. 160).

deux feuilles (a, b) et, à côté, un système (b, a) *identique*, mais d'*ordre inverse*. Les plages contiguës *ab* et *ba* de la plaque sont inégalement impressionnées. Par exemple, le système (zinc-papier noir) paraît fortement plus opaque que le système (papier noir-zinc); le système (cuivre-étain) paraît plus opaque que le système (étain-cuivre). Les épaisseurs des feuilles métalliques employées sont comparables au centième de millimètre.

Ici encore l'écran au platinocyanure de baryum décèle fort mal le phénomène précédent (1) (Cf. §§ 5, 8 et 9).

11. *Effet secondaire électrique. Mécanisme de la décharge des conducteurs frappés par les rayons X.* — Avant mes expériences, on ne savait pas décharger un conducteur, au moyen des rayons X, sans diriger les rayons X soit sur le métal électrisé (Benoist et Hurmuzescu), soit à travers le gaz soumis au champ électrique du conducteur (J. Perrin). Ce dernier mode de décharge isole un phénomène indépendant de la nature du métal et dépendant seulement de la nature et de la pression du gaz, d'où le nom d'*effet gaz* que lui a donné J. Perrin (2). Le rôle du métal n'a été étudié par Benoist et Hurmuzescu, puis par J. Perrin, que par différence avec l'effet précédent.

J. Perrin appelle *effet métal* ce qu'il faut ajouter à l'effet gaz pour avoir l'effet total (3), et il essaie de justifier cette dénomination en cherchant à prouver que :

« En tous les points qu'atteignent des rayons de Röntgen dans la *surface de séparation d'un gaz et d'un métal*, se forment des quantités égales d'électricité positive et négative, ou, d'une manière abrégée, une *ionisation superficielle* se produit en ces points. S'il existe un champ électrique, les charges d'un certain signe sont aussitôt absorbées par le métal, et les charges de signe contraire s'éloignent de ce métal, en décrivant les lignes de force aux extrémités desquelles elles se trouvaient d'abord (4). »

(1) Depuis que j'ai découvert ce phénomène, Roiti a réussi à en faire une étude qualitative suivie avec l'écran fluorescent (*Lincei* du 20 février 1898). L'expression de *cryptoluminescence* que Roiti a voulu, à cette occasion, appliquer à la transformation des rayons X, me paraît impropre ; ce terme ou, plus simplement, celui de *radioluminescence* doit désigner, d'après la nomenclature de E. Wiedemann, la transformation des rayons X en *lumière*. Cf. mon article de la *Revue générale des Sciences* du 30 avril 1898

(2) J. Perrin, Thèse de doctorat, p. 28 ; — *J. de Phys.*, 3e série, t. V, p. 350.

(3) J. Perrin, Thèse de doctorat, p. 48 ; — *J. de Phys.*, t. VI, p. 426.

(4) J. Perrin, Thèse de doctorat, p. 51 et 52 ; — *Théorie de l'effet métal. Ionisation superficielle ; J. de Phys.*, t. VI, p. 430.

Puis il définit des *coefficients d'ionisation superficielle* qui « formeraient une classe de constantes qu'on pourrait comparer, à certains égards, aux tensions superficielles ou aux différences de potentiel par contact[1] ».

Cette théorie de l'*ionisation superficielle* est évidemment à rejeter, puisque, nous l'avons vu, le métal frappé par les rayons X émet des rayons S qui provoquent à leur tour, *loin de la surface du métal*, un *effet secondaire électrique*.

Mes expériences (*fig.* 2 et 5) isolent l'action propre du métal, comme les premières expériences de J. Perrin isolaient l'action propre du gaz; elles m'ont montré qu'il n'y a même pas une partie de l'action du métal localisée à la surface du métal ; il n'y a pas, à proprement parler, d'*effet métal*, mais un *effet secondaire électrique* dû aux rayons S, comme l'*effet primaire* était dû aux rayons X. La théorie de l'*ionisation superficielle* doit être remplacée par celle de l'*effet secondaire*.

Nécessaire pour expliquer l'action propre du métal, l'action électrique *à distance* des rayons S y *suffit* complètement. Si, en effet, on recouvre le métal *électrisé* d'une mince feuille d'aluminium battu, l'action propre du métal ne diminue que si les rayons S sont notablement absorbés par cette feuille.

C'est ce que l'on constate en particulier, en modifiant l'expérience de la *fig.* 2, comme l'indique la *fig.* 7 : la cage de l'électroscope est prolongée jusqu'aux feuilles d'aluminium battu, AA, MM, et l'on amène des lignes de force nombreuses dans cette région, à l'aide de la lame métallique M′, reliée à la feuille d'or *f*. Les rayons X de la lame focus *l* provoquent la décharge en agissant principalement sur l'air. Ils traversent AA et MM sans absorption sensible.

Dès que, sur le trajet de ces rayons, on place une lame de cuivre ou de zinc ZZ, l'action des rayons S du métal à travers la feuille d'aluminium battu MM double, par exemple, la vitesse primitive de décharge. Cet *effet secondaire électrique* augmente graduellement à mesure qu'on rapproche ZZ de MM. Quand ZZ est au contact de MM, on peut enlever la feuille d'aluminium battu MM qui recouvrait ZZ, de manière que le métal ZZ porte maintenant à sa surface les charges électriques que portait tout à l'heure MM ; cela n'aug-

---

(1) *Loc. cit.* Voir aussi : *Comptes Rendus* du 1er mars 1897, t. CXXIV, p. 455 : Décharge par les rayons de Röntgen. Rôle des surfaces frappées.

mente guère l'effet secondaire, de 1/10 par exemple, et cette augmentation s'explique suffisamment par l'absorption des rayons S dans la feuille MM.

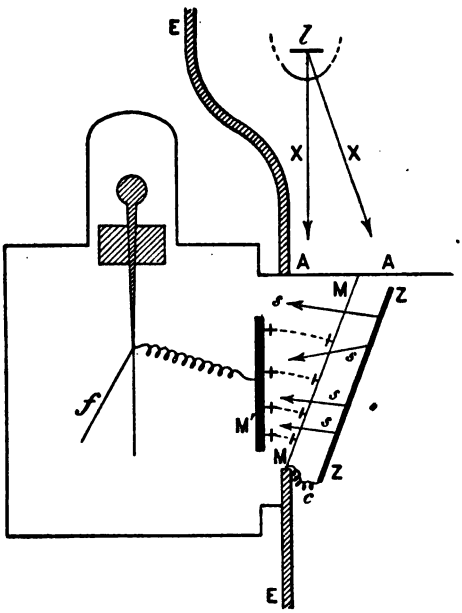

Fig. 7.

La *fig.* 8 montre la même expérience répétée avec un condensateur plan (1). Quand la feuille de métal ZZ s'éloigne de la feuille d'alumi-

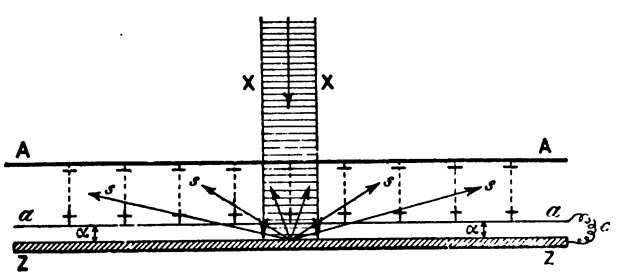

Fig. 8.

nium battu *aa*, à partir du contact jusqu'à 1 millimètre, on oblige les

(1) C'est la vitesse de décharge de AA que l'on étudie. Les feuilles *aa* et ZZ sont au sol.

rayons S à traverser une couche d'air adjacente au métal ZZ et épaisse de 1 millimètre. L'effet secondaire demeure comparable à lui-même, ce qui prouve que les rayons S transmis par 1 millimètre d'air produisent encore une partie importante de l'effet secondaire; mais il diminue nettement plus qu'on ne devrait s'y attendre, en tenant compte de la légère perte latérale des rayons S (1). Cela démontre l'importance de l'*absorption des rayons S par l'air* atmosphérique.

Dans toutes ces expériences, la feuille d'aluminium battu, d'environ $\frac{1}{300}$ de millimètre d'épaisseur, n'a qu'une action électrique négligeable (2), ce qui rend correcte la démonstration exposée; toute l'action du métal a donc bien lieu *à distance*. Il n'y a sensiblement rien de localisé sur la surface du métal.

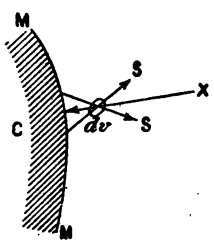

Fig. 9.

Maintenant j'ai vérifié, comme il était vraisemblable *a priori*, que les rayons secondaires déchargent une surface métallique C sans rencontrer ni cette surface ni les surfaces avec lesquelles la première échange des lignes de force, pourvu que les rayons S traversent le gaz placé dans le champ électrique de la surface conductrice C. C'est la loi de M. J. Perrin sur l'effet gaz des rayons X étendue aux rayons S. Ainsi les rayons S absorbés, bien plus énergiquement

(1) Cette perte est faible, parce que la feuille *aa* employée est grande, par rapport à la distance α de *aa* à ZZ, et par rapport à la largeur de la région de ZZ, frappée par les rayons X.

(2) Les rayons S de l'aluminium avaient dans mes expériences, comme dans celles de J. Perrin, une action *faible* vis-à-vis de celle des rayons des métaux lourds, même quand l'aluminium était *épais*. Or ici il n'avait que $\frac{1}{300}$ de millimètre, et nous avons vu qu'il faut une épaisseur de 1 millimètre d'aluminium pour que l'effet secondaire électrique de l'aluminium soit complet.

d'ailleurs que les rayons X (expérience de la *fig.* 8), par l'air adjacent au conducteur C qui les émet (*fig.* 9), rendent chaque élément de volume *dv* du gaz conducteur de l'électricité, à la manière des rayons X incidents. *C'est dans le gaz polarisé diélectriquement par le champ électrique de* C *que le phénomène total de la décharge est localisé.*

Conformément à ce qui précède, l'action d'un même métal n'est pas uniquement définie, comme le pensait J. Perrin, par la nature du métal, la nature et la pression du gaz, l'intensité du champ électrique, *la forme et l'étendue superficielle du métal :* 1° elle dépend de l'épaisseur du métal et augmente avec cette épaisseur tant qu'on n'a pas atteint l'épaisseur de la couche d'émission (Voir § 7); 2° elle augmente avec le volume du gaz soumis à l'action électrique des rayons S.

Néanmoins il est intéressant de remarquer qu'elle augmente peu, dans le cas d'un condensateur plan, avec l'épaisseur de la lame d'air du condensateur [1], et l'absorption par l'air ne suffit pas à rendre compte de cette particularité. Il faut encore tenir compte de ce que :

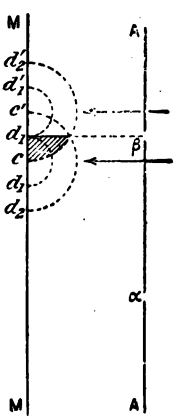

Fig. 10.

1° Les rayons S émis par l'armature de métal lourd MM (*fig.* 10)

[1] J. Perrin a vérifié lui-même l'augmentation de l'action du métal avec l'épaisseur du condensateur, conséquence de ma théorie (*Comptes Rendus* du 17 janvier, t. CXXVI). Mais il a cherché à montrer que 1 millimètre d'air arrête presque toute d'action électrique des rayons S des métaux lourds.

L'expérience de la *fig.* 8 dément cette interprétation; il en est de même l'expériences photographiques tout à fait analogues, que je ne décrirai pas ici.

qui reçoit les rayons X à travers l'armature d'aluminium AA, munie d'un anneau de garde $\alpha\beta$, n'atteignent pas tous les lignes de force seules en jeu, qui partent de $\alpha\beta$, et la quantité de rayons S perdus latéralement est justement d'autant plus grande que l'armature $\alpha\beta$ est plus éloignée de MM par rapport à la largeur de la région rayonnante de MM [1];

2° Une partie de l'action du métal MM est due aux rayons tertiaires qu'émet l'armature AA sous l'influence des rayons S de MM qui l'atteignent (Voir § 12), et l'*action électrique tertiaire* est d'autant plus faible que la source MM des rayons S est plus éloignée de AA.

Pour ces deux raisons, on comprend que l'effet secondaire puisse même *diminuer* quand l'épaisseur d'air du condensateur augmente si elle est déjà suffisamment grande. C'est ce que j'ai vérifié.

3° Enfin, sous l'influence de la conductibilité spéciale créée dans l'air par les rayons X, le champ électrique cesse d'être uniforme dans toute l'épaisseur d'air du condensateur et se *localise principalement* au voisinage des armatures. Cela résulte d'expériences récentes de M. Child [2]. Or l'action de décharge des rayons S augmente avec la valeur du champ électrique (du moins jusqu'à une certaine limite).

On comprend ainsi que l'action électrique des rayons S émis par l'armature MM puisse paraître grossièrement localisée *au voisinage des deux armatures* du condensateur. Quand les rayons S agissent seuls, cette localisation est beaucoup moins marquée, parce que les rayons X n'agissent plus sur le gradient du champ électrique.

Toute hypothèse mise à part, les expériences de Benoist et Hurmuzescu, Righi, Villari, J.-J. Thomson, J. Perrin, C.-D. Child sur les rayons X, jointes à mes expériences sur les rayons S, me paraissent rendre nécessaire le mécanisme général suivant :

A travers chaque surface de niveau Σ d'un champ électrique (*fig.* 11), il passe un double flux d'électricité, savoir : 1° un *flux négatif* formé de charges négatives que les rayons X ont libérées dans les particules d'air polarisées par le champ électrique, comprises entre Σ et

---

(1) Voir, dans les *Comptes Rendus* du 3 janvier 1898, l'explication détaillée de l'expérience décrite par J. Perrin, p. 51 de sa thèse, et p. 429 du t. VI du *Journal de Physique*.

(2) C.-D. Child, Ueber die Potentialgradienten an Metalelectroden bei der Entladung durch X Strahlen (*Wiedemann's Annalen ;* t. LXV, p. 152). Analysé au *Journal de Physique*, septembre 1898, t. VII, p. 549.

l'*armature négative* MM ; 2° un *flux positif* résultant de même de toutes les charges positives issues des particules d'air comprises entre Σ et l'armature positive AA.

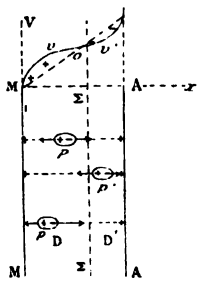

Fig. 11.

Ces flux d'électricité se déplacent avec des *vitesses finies*. Près de l'armature positive AA, le flux négatif issu des différentes tranches de la couche d'air D à gauche de Σ l'emporte sur le flux positif issu de la couche d'air *plus mince* D' située à droite de Σ ; il y a donc en Σ de l'électricité négative libre en mouvement, dont la densité cubique est constante, une fois le régime permanent établi. D'où résulte une diminution du potentiel et du champ électrique en Σ, si l'on suppose la différence de potentiel des armatures maintenue invariable. De là l'altération du gradient étudiée par Child, altération qui remplace la ligne droite MO (*fig.* 11) par la courbe infléchie M*vov'*, ce qui contribue à localiser l'effet secondaire au voisinage de MM et de AA où le champ électrique est particulièrement intense. D'ailleurs, l'action des rayons S de M diminue la localisation du champ et de l'effet secondaire près de MM d'autant plus que les rayons S sont plus actifs ; des couches d'air adjacentes au métal rayonnant MM électrisé négativement par exemple (cas de la *fig.* 11), partent, en effet, des charges négatives qui diminuent au voisinage de MM l'excédent des charges positives libres en mouvement et, par suite aussi, la localisation du champ et de l'effet secondaire dans cette région. Conformément à ce qui précède, l'altération du gradient observée par Child était d'autant moins grande que l'armature MM était formée d'un métal absorbant davantage les rayons X et moins grande dans tous les cas que lorsque les rayons X ne touchaient pas l'armature MM.

On voit que le phénomène est très complexe. Il faut tenir compte

des rayons secondaires et même tertiaires émis par les armatures et, en toute rigueur, des rayons secondaires de l'air lui-même. Les corps voisins interviennent généralement en déviant une partie des lignes de force du champ, si le condensateur n'est pas pourvu d'un anneau de garde et aussi en renvoyant, après transformation, une partie des rayons qu'ils reçoivent ; ces inconvénients du condensateur n'interviennent pas avec l'électroscope, dont la cage conductrice limite parfaitement le champ électrique, n'admet que les rayons que l'on veut étudier (*fig.* 5) et empêche les mouvements perturbateurs de l'air.

Ainsi sont suffisamment expliquées les diverses particularités du phénomène de la décharge d'un conducteur frappé par les rayons X. Le mécanisme en est complexe, mais dominé par cette *loi générale : Le gaz soumis à l'action du champ électrique du conducteur est le seul siège du phénomène.* Il semble même que l'action des rayons primaires ou secondaires se borne à *libérer* et à abandonner à l'action motrice du champ les charges + et — qui, d'après Faraday, sont induites par le champ électrique dans chaque particule p, p' (*fig.* 11) du diélectrique gazeux [1].

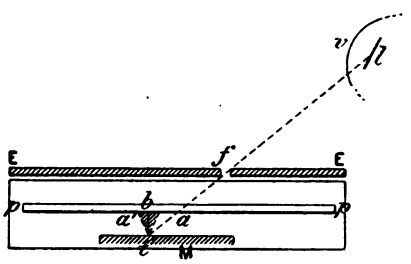

Fig. 12.

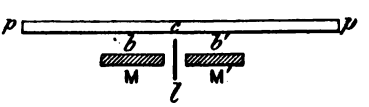

Fig. 13.

12. *Rayons tertiaires.* — L'expérience de la *fig.* 4 montre déjà que les rayons tertiaires T se forment à partir des rayons secondaires S comme les rayons S se forment à partir des rayons X primaires. Si les rayons S sont assez différents des rayons X incidents, ils excitent des rayons T encore plus absorbables et faciles à enregistrer par la photographie même, quand les rayons S sont reçus par un corps très léger, tel que l'aluminium. Cela permet de constater facilement l'*émission tertiaire* en quelques minutes de pose, par

[1] G. Sagnac, Luminescence et Rayons X : *Revue générale des Sciences*, du 30 avril 1898, p. 420.

exemple au moyen du dispositif représenté de profil par les *fig.* 12 et 13 : Une nappe *lf* de rayons X (*fig.* 12) traverse une plaque photographique (ou une pellicule) *pp* sous une incidence telle que 45°, impressionne en *a* la couche sensible *placée en dessous et nue*, puis va frapper les miroirs métalliques M et M′ (*fig.* 13) situés à 1 ou 2 millimètres de la couche sensible.

Chaque miroir rayonne autour du point frappé, et la couche sensible est impressionnée en *b* et *b′* (*fig.* 13) suivant de petites taches d'autant plus étroites que le temps de pose est plus court et qui sont centrées sur la normale *tb* au miroir (*fig.* 12) et non pas sur la droite, projetée en *a′*, définie par la loi de la réflexion régulière. En même temps les rayons S de M et de M′ viennent frapper la lame d'aluminium *l* (*fig.* 13), qui affleure à un demi-millimètre environ de la couche sensible ; ils s'y transforment en *rayons tertiaires*, lesquels viennent impressionner la couche sensible en *c* suivant une zone étroite qui court au-dessus de la tranche de la lame *l*. Si l'on enlève le miroir M′, la zone *c* se trouve limitée nettement à droite (*fig.* 13) au prolongement du plan de *l*. Si l'on enlève M et M′, on n'aperçoit plus rien en *c*, même si la lame *l* est placée parallèlement à la couche sensible, à moins que l'on n'augmente considérablement le temps de pose.

Le dispositif de la *fig.* 14 diffère du dispositif de la *fig.* 4 (§ 2) en ce que l'ouverture de l'écran de plomb EE laisse passer un pinceau de rayons X limité à lxz_0, qui impressionne en u_0z_0 la plaque sensible *pp′*, distante seulement de quelques millimètres de l'écran de plomb EE. Une moitié de la fente de EE, celle qui est en avant du plan de la *fig.* 14, est libre et laisse passer les rayons secondaires S issus du métal lourd M (miroir d'acier, par exemple) ; ces rayons S viennent impressionner *pp′* sur la zone *uz* nettement limitée à la droite *z* située dans le plan du miroir M. L'autre moitié de la fente de EE est recouverte d'une lame d'aluminium *ab* de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur. Les rayons S se transforment en tombant sur *ab*, les rayons T émis par *ab* impressionnent la plaque *pp′* en *u′z′* à 1 ou 2 millimètres de distance du bord *b*. On évite l'action des rayons secondaires émis par les lèvres de la fente de plomb EE en entourant (*fig.* 14) ces lèvres d'un revêtement d'aluminium qui arrête les rayons S du plomb et n'émet, comme *ab*, que des rayons S sensiblement inactifs. On compare ainsi sur le même cliché :

1° L'impression u_0z_0 due aux rayons X primaires;
2° L'impression uz due aux rayons S de l'acier M;
3° L'impression $u'z'$ due aux rayons T émis par l'aluminium ab.

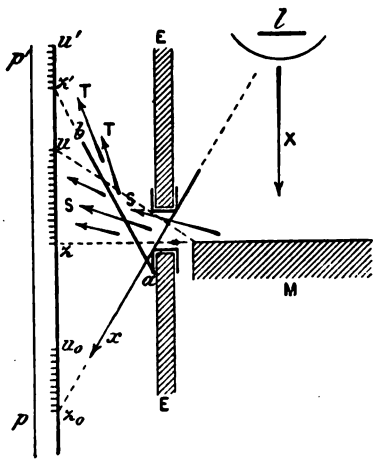

Fig. 14.

Or le pinceau de rayons X directs n'est pas sensiblement plus actif photographiquement que les rayons S, ni que les rayons T. Et cependant l'ombre de la lame d'aluminium ab donnée par les rayons X est insignifiante, c'est-à-dire que la zone u_0z_0 est presque également impressionnée dans la moitié située en avant du plan de la *fig.* 14, vue librement de la lame focus l, et dans la moitié que les rayons X ont atteinte après avoir traversé ab; tandis que la feuille ab a arrêté une importante partie des rayons S, et, en uz, l'impression est beaucoup plus faible qu'en avant du plan de la figure. Enfin l'impression $u'z'$, des rayons T, s'arrête très nettement en z' dans le plan de ab, d'où il suit que ces rayons T n'ont pas traversé en quantité appréciable $\frac{1}{10}$ de millimètre d'aluminium, *bien que leur action photographique se montre en $u'z'$ aussi intense que l'action libre des rayons S* en uz en avant du plan de la figure. On voit ainsi que *le pouvoir de pénétration va en diminuant par degrés, quand on passe des rayons X aux rayons secondaires S, puis aux rayons tertiaires T;* grâce à cette absorbabilité croissante, ces groupes successifs de rayons, bien qu'ayant des *énergies rapidement décroissantes* ont des *actions photo-*

graphiques comparables lorsqu'ils ne traversent que des couches d'air assez minces pour ne pas en absorber la partie la plus active. On conçoit ainsi qu'en opérant à petite distance et dans des gaz raréfiés on puisse poursuivre assez loin ces *transformations successives* des rayons X et en quelque sorte *prolonger de plus en plus le spectre des rayons X du côté des rayons les plus absorbables*. Par analogie avec les phénomènes de luminescence, on est conduit à supposer que ce prolongement du spectre a lieu par augmentations graduelles des longueurs d'onde (loi de Stokes). Si l'on admet de plus que les rayons X ne diffèrent des rayons lumineux que par la petitesse extrême de leurs longueurs d'onde, *comparables*, *je pense*, *aux dimensions des particules matérielles*, on peut espérer arriver par transformations graduelles à des rayons identiques à certains rayons ultra-violets déjà connus, par exemple identiques aux rayons ultra-violets de longueur d'onde $0\mu,1$, étudiés par Schumann, rayons bien curieux, qui n'impressionnent pas les plaques photographiques ordinaires et sont absorbés déjà complètement par un dixième de millimètre d'air atmosphérique.

Conclusions. — Pour le moment, je tirerai des phénomènes de transformation des rayons X par la matière les conséquences générales suivantes :

1° L'hypothèse, émise par Röntgen dans son dernier mémoire [1], en vertu de laquelle les rayons X ne seraient qu'une sorte spéciale de *rayons cathodiques*, doit être rejetée. C'est un fait digne de remarque que les rayons secondaires du plomb, par exemple, sont comparables, par leur faible pouvoir de pénétration, à des *rayons de Lenard*. Je regarde cependant comme inutile toute tentative dirigée en vue de dévier les rayons S par l'aimant ou d'y reconnaître une trace d'électrisation. C'est qu'en effet les rayons S, comme d'ailleurs les rayons X, d'une part, et les rayons cathodiques ou les rayons de Lenard, d'autre part, *se comportent de manières nettement opposées vis-à-vis de la matière :* tandis que la lame focus d'un tube à vide transforme les rayons cathodiques en rayons X *plus pénétrants* que les premiers, la même lame recevant les rayons X les transforme en rayons S *moins pénétrants*. D'ailleurs, M. P. Villard a montré que la lame focus qui émet les rayons X *diffuse* en même temps des rayons

(1) Röntgen, 3e mémoire, *Éclairage électrique*, t. XII, p. 165, 166 ; — *J. de Phys.*, t. VI, p. 538.

cathodiques qui ne paraissent avoir subi aucune transformation, mais qui peuvent, à leur tour, se *transformer* en rayons X en tombant sur la matière et, pour une autre part, s'y *diffuser* une seconde fois [1]. L'*émission des rayons X* se présente donc comme un phénomène très différent d'une *diffusion* des rayons cathodiques, aussi bien que d'une *transformation* analogue à celle des rayons X en rayons S. Elle semble bien pouvoir être rattachée, au contraire, comme le pense J.-J. Thomson [2], à un phénomène d'*induction électro-magnétique* provoqué par l'arrêt brusque des charges cathodiques au moment où les rayons cathodiques frappent la matière;

2° Même si l'on écarte l'hypothèse, *jusqu'ici vraisemblable*, qui assimile les rayons X à des rayons ultra-violets extrêmes, on peut dire que *les phénomènes de transformation des rayons X par la matière sont pour les rayons X ce que les phénomènes de luminescence sont pour les rayons ultra-violets.*

Dans l'histoire des rayons X, les phénomènes de transformation des rayons X par la matière ont plus d'importance encore que les phénomènes de luminescence dans l'histoire des rayons lumineux : ils dévoilent entre les rayons X et la matière des relations nouvelles *très générales* qui caractérisent véritablement les rayons X et permettront sans doute d'en définir *la nature*. Déjà ils m'ont permis d'ajouter aux rayons X *ultra-pénétrants* de Röntgen, qui traversent plusieurs millimètres de fer, et aux rayons X moyens le plus communément employés, qui sont arrêtés par une fraction de millimètre de fer, toute une *gamme graduellement descendante* de rayons S, de plus en plus absorbables, par exemple ceux du soufre, de l'aluminium, du cuivre, du zinc, du plomb. Les premiers termes de cette série sont des rayons peu différents des rayons X moyens dont je suis parti; mais les rayons S du cuivre, du zinc, sont déjà très nouveaux, et ceux du plomb ont la majeure partie de leur action photographique ou électrique arrêtée par une simple feuille de papier noir ou par quelques millimètres d'air à la pression atmosphérique, tandis que les rayons X dont ils proviennent traversent plusieurs mètres d'air. Les transformations en rayons *tertiaires* augmentent encore l'écart déjà si considérable entre les termes

---

(1) P. Villard, Sur la diffusion des rayons cathodiques (*Comptes Rendus* du 25 juillet 1898).

(2) J.-J. Thomson, *Phil. Mag.*, février 1898, p. 172; — *J. de Phys.*, 3e série, juin 1898, t. VII, p. 379.

extrêmes de la série. La difficulté croissante des expériences m'a paru jusqu'ici le seul obstacle au prolongement indéfini de cette série de rayons auxquels il convient de conserver le nom générique de rayons X jusqu'au moment où, en prolongeant toujours régulièrement la série, on retrouvera peut-être une espèce de rayons déjà connue avant la découverte de Röntgen.

Construction mécanique des courbes terminales des spiraux;

Par M. Ch.-Ed. Guillaume [1].

Lorsqu'un volant, en équilibre sur un axe, est relié à un ressort spiral, il est susceptible d'effectuer des oscillations qui deviennent isochrones, lorsque le spiral remplit certaines conditions, étudiées par divers géomètres, mais que Phillips a indiquées pour la première fois dans toute leur généralité.

L'équation différentielle du mouvement que pose Phillips est la suivante :

$$I\frac{d^2\omega}{dt^2} = -G\omega + Yx - Xy.$$

Le côté droit de l'équation contient, comme premier terme, l'expression du moment de rotation exercé sur l'axe par le spiral. Les deux autres termes sont l'expression d'un moment additionnel, dans lequel X et Y sont les composantes d'un effort latéral agissant sur l'axe, x et y les coordonnées du centre de gravité du spiral.

Si l'on pouvait annuler les deux derniers termes, l'équation se réduirait à celle d'où résulte un mouvement oscillant isochrone. Tout le problème est donc concentré sur ce point : annuler le terme $Yx - Xy$.

Phillips fait observer que, dans un système bien construit et suffisamment symétrique, les composantes de l'effort sont peu importantes. Si l'on veut que le produit soit négligeable, il faut que l'autre facteur soit très petit, c'est-à-dire que le centre de gravité soit très près de l'axe de rotation.

---

[1] Séance du 3 juin 1898.

Partant de cette première condition, Phillips cherche à la remplir en donnant aux extrémités du spiral une forme particulière, et voici la construction à laquelle il arrive :

Le spiral doit être terminé par des courbes astreintes chacune à la condition d'avoir leur centre de gravité sur le rayon perpendiculaire à celui qui passe par le point où la courbe quitte la spire. Ce centre de gravité doit être à une distance de l'axe égale à $\frac{r^2}{l}$, c'est-à-dire à une troisième proportionnelle à la longueur l de la courbe et au rayon r des spires.

On comprend que ces deux conditions ne suffisent pas pour définir complètement les courbes en question, qui, pour un même point de départ et un même point d'arrivée, sont en nombre infini. En pratique, on impose encore les conditions, assez vagues, de facilité d'exécution des courbes sur les spiraux de toutes dimensions, sans que l'élasticité du métal subisse une altération importante.

Toutes les courbes de Phillips, dont les horlogers possèdent un assez grand nombre, ont été obtenues par la méthode graphique; dans l'application de cette méthode, on prend deux axes rectangulaires passant par le centre du spiral; on dessine de sentiment une courbe, entre deux points donnés, puis on la sectionne et l'on calcule ses moments statiques par rapport aux deux axes, de manière à déterminer la position de son centre de gravité. On la retouche alors en une région convenablement choisie pour se rapprocher des conditions théoriques, et l'on continue ainsi, en déterminant chaque fois sa longueur totale, afin de fixer la position nouvelle que doit occuper son centre de gravité après chaque retouche.

Cette opération est très laborieuse, et on arrive bien plus vite au but par un procédé mécanique de recherche du centre de gravité de la courbe.

L'appareil employé dans cette recherche [1] se compose d'un disque porté par un pivot et muni de deux pinces A et B (*fig.* 1), ainsi que de deux poids C, C, se vissant sur deux tiges placées à angle droit et destinés à mettre le disque en équilibre. Ce disque est porté par une plate-forme sur laquelle il repose par son pourtour,

---

[1] Le premier type de cet appareil a été réalisé par M. J. Pettavel, directeur de l'Ecole d'horlogerie de Fleurier (Suisse), qui en a fixé les détails et l'a exécuté avec une grande habileté.

et dont le centre est percé pour laisser passer une tige verticale terminée par une cuvette polie en acier trempé. Cette tige s'appuie sur un segment incliné que gouverne la manette M et peut monter ou descendre, de manière à porter le disque sur sa pointe ou l'abandonner sur la plate-forme.

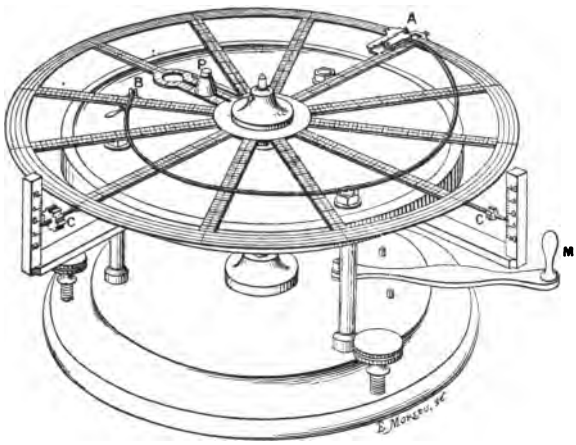

Fig. 1.

Voici maintenant comment on peut, à l'aide de cet appareil, réaliser une courbe de Phillips :

Un fil de métal flexible, par exemple un fil fusible de 1 à 2 millimètres de diamètre, est d'abord mesuré, puis pesé, enfin pincé par ses extrémités en A et B. Dans le diamètre perpendiculaire à celui qui passe par le point A, on place un poids P, égal au poids de la courbe, à une distance du centre égale à r^2, ou plus généralement, un poids quelconque à une distance telle que son moment statique par rapport au pivot soit égal à celui que la courbe doit finalement posséder. On soulève le disque sur son pivot, on constate la direction et la grandeur approximative du défaut d'équilibre, on retouche la courbe avec des pinces, et l'on continue ainsi jusqu'à ce que l'équilibre soit obtenu.

Avec notre appareil, dont le disque a un diamètre de 20 centimètres, on établit l'équilibre par des retouches successives, généralement en moins de cinq minutes. Une courbe ayant été obtenue, il suffit d'en faire un calque que l'on réduit ensuite comme pour les courbes trouvées par le dessin.

Le procédé mécanique, outre sa beaucoup plus grande rapidité, semble présenter sur la méthode graphique un autre avantage, tenant à ce que la détermination d'un type de courbe se fait d'une façon exactement semblable à celle qui sera plus tard employée pour réaliser pratiquement les courbes sur les spiraux eux-mêmes. Les conditions d'exécution se manifestent donc dès la création de la courbe, ce qui permet de choisir d'emblée les types qui seront pratiquement utiles.

L'emploi, de plus en plus important, que l'on fait des spiraux dans les instruments de mesure, peut rendre désirable la détermination de nouveaux types de courbes, non encore créés, pour l'horlogerie ; ce travail serait singulièrement facilité par l'emploi de notre balance.

Sur une méthode purement physique pour la détermination des poids moléculaires du gaz et des poids atomiques de leurs éléments ;

Par M. Daniel Berthelot [1].

Les équivalents chimiques représentent les proportions pondérales selon lesquelles les corps se combinent.

La méthode la plus directe pour les déterminer est donc la *méthode chimique*, qui consiste à faire l'analyse ou la synthèse d'un corps composé. On obtient ainsi une première échelle d'équivalents et par suite de poids moléculaires.

Mais on peut employer également une *méthode physique*, fondée sur la loi de Gay-Lussac, d'après laquelle les volumes des corps qui se combinent, mesurés à l'état gazeux, sont entre eux dans des rapports simples, et sur le principe d'Avogadro-Ampère, qui est une généralisation de cette loi et d'après lequel les volumes moléculaires de tous les gaz sont égaux. Les densités des gaz mesurés à la même température et sous la même pression fournissent donc une nouvelle échelle de poids moléculaires.

Cependant, en fait, ces deux échelles ne concordent pas exactement ; les *densités théoriques* des gaz calculées d'après les valeurs des équivalents fournis par l'analyse chimique ne s'accordent qu'im-

---

[1] Séance du 17 juin 1898.

parfaitement avec les *densités expérimentales* trouvées dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Ce désaccord tient à ce que le principe d'Avogadro-Ampère ne pourrait être exact pour diverses températures et diverses pressions que si tous les gaz avaient même compressibilité et même coefficient de dilatation. Or aucune de ces deux lois n'est rigoureuse.

Mais il résulte des expériences de Regnault que les coefficients de dilatation des divers gaz, tant sous pression constante que sous volume constant, se rapprochent de plus en plus d'une même valeur égale environ à $\frac{1}{273}$, à mesure que la pression diminue. Par suite, les lois de Gay-Lussac sont des lois limites, vraies pour des pressions très faibles. Nous sommes donc autorisés à admettre que, dans ces conditions, de raréfaction extrême, les volumes moléculaires de tous les gaz sont rigoureusement égaux.

L'échelle physique des poids moléculaires, fondée sur les densités des gaz, se rapproche donc d'autant plus de l'échelle chimique que la pression est plus faible, et l'on est amené à penser qu'elle se confondrait avec elle si on substituait aux *densités normales* (c'est-à-dire mesurées à 0° et sous la pression de l'atmosphère) *les densités limites* prises sous une pression infiniment faible.

La densité limite d'un gaz ne peut pas être mesurée expérimentalement ; mais il est facile de la déduire de sa densité normale, si l'on connaît la loi de compressibilité de ce gaz.

Désignons par v_1 le volume d'une masse de gaz sous la pression normale p_1, par v_0 son volume sous la pression p_0 ; si le gaz ne suit pas la loi de Mariotte, nous pouvons poser :

$$(1) \qquad 1 - \frac{p_1 v_1}{p_0 v_0} = A_{p_0}^{p_1} (p_1 - p_0)$$

$A_{P_0}^{P_1}$ désignant le coefficient moyen d'écart de la compressibilité du gaz par rapport à la loi de Mariotte entre P_1 et P_0.

Considérons deux gaz G et G' sous une pression infiniment faible p_1 ; leurs volumes moléculaires ont une même valeur v_0 ; comprimons ces deux gaz jusqu'à la pression atmosphérique p_1 ; leurs volumes moléculaires cessent d'être égaux et prennent les valeurs :

$$v_1 = v_0 \frac{p_0}{p_1} [1 - A_{p_0}^{p_1} (p_1 - p_0)] = u_1 [1 - A_{p_0}^{p_1} (p_1 - p_0)]$$

$$v'_1 = v_0 \frac{p_0}{p_1} [1 - A_{p_0}^{p_1} (p_1 - p_0)] = u_1 [1 - A'^{p_1}_{p_0} (p_1 - p_0)]$$

u_1 étant le volume moléculaire que prendraient tous les gaz sous la pression atmosphérique s'ils suivaient la loi de Mariotte.

Si p_0 est infiniment faible, le rapport de ces volumes moléculaires se réduit à :

$$\frac{v_1}{v'_1} = \frac{1 - A_0^{p_1} p_1}{1 - A_0'^{p_1} p_1}.$$

Les volumes moléculaires des divers gaz G, G', G'' prennent donc, sous la pression p_1, des valeurs proportionnelles à $1 - Ap_1$, $1 - A'p_1$, $1 - A''p_1$. Soient d_1, d'_1, d''_1, leurs densités sous la pression atmosphérique p_1, leurs poids moléculaires sont égaux aux produits des volumes moléculaires par les densités correspondantes c'est-à-dire proportionnels à $(1 - Ap_1)d_1 \ldots (1 - A'p_1)d'_1 \ldots (1 - A''p_1)d''_1$.

En particulier, si les pressions sont évaluées en atmosphères, $p_1 = 1$, et les densités limites des gaz G_1, G'_1, ..., sont proportionnelles à $(1 - A_0^1)d_1$, $(1 - A'^1_0)d'_1 \ldots$ Tout se réduit donc au calcul du coefficient moyen A_0^1 entre 0 et 1 atmosphère.

Le résultat est immédiat pour les gaz dits autrefois *permanents*. On sait, par les expériences de Regnault, que, pour ces gaz, le coefficient $A_{P_0}^{P_1}$ reste sensiblement constant pour des variations de pression de 3 à 4 atmosphères. On peut donc sans erreur sensible prendre entre 0 et 1 atmosphère l'écart mesuré entre 1 et 2 atmosphères.

Dans le cas des gaz facilement liquéfiables, le coefficient $A_{P_0}^{P_1}$ varie assez vite avec p, en sorte que, pour calculer A_0^1, il faut tenir compte de la loi de compressibilité du gaz. Or on connaît, d'une manière approchée et plus que suffisante pour le cas actuel, où il ne s'agit que d'une variation de pression relativement faible, la fonction qui lie le volume et la pression d'une masse gazeuse. Non seulement la formule de M. van der Waals représente bien l'allure générale du phénomène ; mais, si l'on détermine ses coefficients de manière à satisfaire exactement aux expériences pour une portion de la courbe de compressibilité, elle donne des valeurs numériques fort bonnes pour les portions voisines.

Nous poserons donc :

$$p = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2}, \tag{2}$$

p, v, T étant la pression, le volume et la température centigrade,

augmentée de 273°, de la masse de gaz considérée; a, b, R, trois constantes.

Si l'on choisit pour unité de volume, comme l'a proposé M. Sarrau, le volume qu'occuperait à 0° et sous la pression normale la masse du gaz, s'il suivait dans ces conditions les lois de Mariotte et de Gay-Lussac (ce qui revient à faire lim. $pv = 1$ pour $p = 0$), R prend pour tous les gaz la valeur commune 1 : 273 et le nombre des constantes caractéristiques de chaque gaz se réduit à deux. Dans le cas actuel, toutes nos données se rapportent à 0° centigrade, et l'on a $RT = 1$.

L'équation (2) contenant deux constantes a et b, il faut deux conditions pour les déterminer. Comme notre but est de calculer la compressibilité du gaz entre 0 et 1 atmosphère, la première condition imposée à la formule sera de représenter exactement la compressibilité du gaz dans la région voisine où elle a été mesurée avec rigueur, c'est-à-dire de donner exactement le coefficient A_2^1 entre 1 et 2 atmosphères. On fera $p = 1$, $p = 2$ dans l'équation (2), et on calculera les valeurs v_1, v_2, puis l'expression

$$\frac{v_1}{2v_2} - 1 = A_2^1.$$

La seconde condition sera empruntée à l'une des particularités caractéristiques de la courbe de compressibilité; celle qui conduit au calcul le plus simple et qui utilise l'une des constantes des gaz les mieux déterminées consiste à fixer le rapport $\frac{a}{b}$ de manière à retrouver la température critique t_c :

$$\frac{a}{b} = \frac{27}{8}\,\frac{273 + tc}{273}. \tag{3}$$

Le calcul se fait par approximations successives. Sachant que a et b sont toujours petits, on obtient un premier système de valeurs approchées de a et de b, en joignant à la valeur $\frac{a}{b}$ donnée par (3), l'expression approchée :

$$A_2^1 = \frac{a - b}{[1 - 2(a - b)]\,[1 - 3(a - b)]}.$$

On obtient d'ailleurs une première valeur approchée de A_0^1 en

posant :

$$A_0^1 = \frac{a - b}{1 - (a - b)}.$$

Si ces valeurs de A_0^1 et A_1^2 étaient rigoureuses, on voit qu'il suffirait de connaître A_1^2 pour en déduire $a - b$ et par suite A_0^1. On n'aurait donc plus besoin de l'équation de Van der Waals, qui aurait seulement servi d'intermédiaire pour le calcul ; quand on fait le calcul complet, on constate que la valeur définitive de $1 - A_0^1$ diffère de la valeur approchée fournie par l'expression précédente de moins de $\frac{1}{5000}$ pour les gaz moyennement compressibles comme CO^2 ; pour SO^2, la différence est plus forte et atteint $\frac{1}{2000}$. Ces nombres font voir que, dans la détermination de A_0^1, la valeur de A_1^2 joue un rôle prépondérant, et que la valeur de $\frac{a}{b}$ donnée par (3) n'exerce que peu d'influence [1].

Il est intéressant néanmoins de remarquer que cette relation (3) paraît assez bien vérifiée par l'expérience, au moins pour les pressions assez faibles (la pression de 1 atmosphère par exemple) dont il est question ici. En effet, des expressions données plus haut il résulte que, pour que les coefficients d'écart A à la loi de Mariotte sous ces faibles pressions s'annulent, il faut que $\frac{a}{b} = 1$. L'expression (3) fait donc voir qu'un gaz dont la température critique serait — 192° C. suivrait à 0° la loi de Mariotte au voisinage de 1 atmosphère. Or M. Leduc, en traçant la courbe empirique des écarts A pour les faibles pressions $\left(\frac{1}{76}\text{ de la pression critique}\right)$, a trouvé que l'écart serait nul pour un gaz de point critique égal à — 180°. Pour un tel gaz, la densité limite ne différerait pas sensiblement, à 0° centigrade, de la densité normale.

---

(1) Les isothermes tracés par M. Amagat, en prenant comme coordonnées pv et p, permettent une discussion géométrique fort simple du problème et une détermination graphique rapide du résultat. Les valeurs de A_0^1 et A_1^2 ne sont autre chose que les quotients changés de signe des coefficients angulaires moyens des isothermes entre les pressions considérées par les produits p_0v_0 et p_1v_1. Si l'on possédait un nombre suffisant de valeurs du produit pv au voisinage de la pression atmosphérique, on pourrait peut-être arriver ainsi à une évaluation aussi exacte que par le calcul algébrique. Cette méthode aurait l'avantage de ne rien supposer sur la fonction $f(p, v, T)$ en dehors de ce que donne l'expérience.

Les données expérimentales nécessaires au calcul de la densité limite d'un gaz sont : 1° sa densité normale ; 2° sa compressibilité au voisinage de la pression atmosphérique ; 3° sa température critique.

Cette dernière donnée n'a que peu de poids sur le résultat final et peut même être laissée entièrement de côté, dans le cas des gaz permanents.

Les densités normales ont été déterminées avec soin par Regnault pour les gaz hydrogène, azote, air, oxygène et anhydride carbonique.

Depuis, lord Rayleigh a signalé une petite correction qu'il convient d'apporter aux nombres de Regnault pour tenir compte de la contraction que subit le ballon vide sous l'influence de la pression atmosphérique.

Plus récemment les densités de ces gaz et de divers autres ont été mesurées avec beaucoup de rigueur, d'une manière indépendante, par lord Rayleigh, en Angleterre, et par M. Leduc, en France. Voici les densités trouvées par ces divers expérimentateurs, à 0° et sous la pression atmosphérique normale :

	Regnault (corrigé)	Rayleigh	Leduc
Air	1,00000	1,00000	1,00000
H	0,06949	»	0,06948
O	1,10562	1,10535	1,10523
Az	»	0,96737	0,96717
CO	»	0,96716	0,96702
CO^2	1,52897	1,52909	1,5288
Az^2O	»	1,52951	1,5301
HCl	»	»	1,2692
C^2H^2	»	»	0,9056
SO^2	»	»	2,2639

L'accord de ces divers nombres peut être regardé comme satisfaisant. On remarque pourtant que les nombres de lord Rayleigh sont légèrement supérieurs à ceux de M. Leduc; selon ce dernier savant, cet écart systématique tient à ce que l'air de Londres contiendrait un peu moins d'oxygène que celui de Paris. Il remarque que, si l'on rapporte les densités non pas à l'air, mais à un gaz défini tel que l'oxygène, l'accord a lieu, en général, à 1 : 20000 près ; comme j'adopterai plus loin, à l'exemple de la plupart des chimistes, pour base de l'échelle des poids moléculaires, le poids moléculaire

de l'oxygène, posé, par convention, égal à 32, ces densités par rapport à l'oxygène sont les seules qui interviendront dans les calculs.

Outre les densités du gaz, il est nécessaire de connaître leur compressibilité au voisinage de la pression atmosphérique. Les expériences classiques de Regnault portent sur les gaz suivants : air, azote atmosphérique, hydrogène, anhydride carbonique. Les expériences de M. Amagat, qui ont mis en lumière les lois générales de la compressibilité des fluides, ne commencent, en général, qu'à des pressions notablement supérieures à la pression atmosphérique ; mais tout récemment MM. Leduc et Sacerdote ont déterminé avec beaucoup de précision les coefficients d'écart d'un grand nombre de gaz par rapport à la loi de Mariotte entre 1 et 2 atmosphères (*Comptes Rendus*, 2 août 1897).

Voici les nombres qu'ils ont trouvés [1] à la température de 16° :

H	Az	CO	O	
— 0,00061	+ 0,00023	0,00030	0,00061	
CO^2	Az^2O	HCl	C^2H^2	SO^2
0,00526	0,00590	0,00625	0,00655	0,01915

Les coefficients d'écart à la loi de Mariotte donnés ici se rapportent à 16° ; les densités données plus haut se rapportent à 0°. Il est donc nécessaire de ramener ces données à une même température. On peut y arriver soit en ramenant les densités à 16° au moyen des coefficients de dilatation des divers gaz sous la pression atmosphérique, soit en ramenant les coefficients d'écart à 0° au moyen des coefficients de température appropriés.

M. Leduc a calculé ces derniers coefficients ainsi que les coefficients de dilatation, en s'appuyant sur le principe des états correspondants ; le calcul peut s'appliquer à tous les gaz, sauf à l'hydrogène. Celui-ci se trouvant à l'extrémité de la série, l'expérience directe est indispensable pour savoir comment varie A_0^p avec la température. M. Amagat a montré, en 1873, par des expériences faites entre 1 et 2 atmosphères, que, vers 250°, l'écart est toujours négatif, mais plus petit en valeur absolue que vers 0°. Cette constatation est d'ailleurs conforme aux prévisions que l'on peut tirer de l'équation de

[1] Comme j'adopte ici une unité de pression soixante-seize fois plus forte que ces auteurs (l'atmosphère au lieu du centimètre de mercure), les coefficients de leur tableau sont multipliés par 76.

Van der Waals. Il a reconnu plus tard qu'entre 0° et 100° les isothermes de l'hydrogène (en prenant comme ordonnées pv et p) ont sensiblement la forme de droites parallèles dont le coefficient angulaire 0,00072 entre 100 et 1000 atmosphères diffère à peine du coefficient 0,00070 qu'on déduit des mesures de Regnault faites vers 8° entre 1 et 20 atmosphères et du coefficient 0,00064 observé à 16° par MM. Leduc et Sacerdote entre 1 et 2 atmosphères. On en conclut que, si A_0^1 est égal à — 0,00061 à 16°, il est égal à — 0,00064 à 0°.

Le tableau suivant contient pour une série de gaz:

1° La densité normale d, c'est-à-dire à 0° et sous la pression atmosphérique du gaz par rapport à l'oxygène; cette densité peut être regardée comme connue à $\frac{1}{10000}$ de sa valeur;

2° La valeur à 0° du coefficient d'écart à la loi de Mariotte A_2^1 entre 1 et 2 atmosphères, qui est connu d'après MM. Leduc et Sacerdote avec une précision de $\pm$ 0,00004 pour les gaz permanents et de $\pm$ 0,00008 pour les gaz facilement liquéfiables;

3° La température critique du gaz empruntée, en général, aux tableaux publiés par M. Mathias dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* (1);

4°, 5° Les coefficients a, b de la formule de Van der Waals, calculés comme il a été dit plus haut; en introduisant ces valeurs de a et de b, ainsi que la valeur $R = \frac{1}{273}$, dans l'équation de Van der Waals appliquée à une masse de chaque gaz égale à sa masse moléculaire, on obtient pour le calcul de la compressibilité des divers gaz au voisinage de la pression atmosphérique des formules préférables à celles qui ont été employées jusqu'ici et dont les constantes étaient calculées au moyen d'expériences moins précises et moins voisines de la pression atmosphérique que celles de MM. Leduc et Sacerdote;

6° Le coefficient d'écart de compressibilité A_0^1 du gaz;

7° Le volume moléculaire normal (c'est-à-dire à 0° et sous la pression atmosphérique) $v_m = 1 - A_0^1$ du gaz;

8° Le poids moléculaire M du gaz, celui de l'oxygène étant posé, par définition, égal à 32,

$$\frac{M}{32} = \frac{1 - A_1^0}{1 - A'^1_0} \times \frac{d}{d'},$$

(1) Pour CO^2, j'ai admis le nombre de M. Amagat.

A^1_0 désignant le coefficient d'écart du gaz, A'^1_0 celui de l'oxygène, d la densité normale du gaz, d' celle de l'oxygène.

Ces poids moléculaires peuvent être regardés comme déterminés avec une erreur maximum de $\pm \frac{1}{5000}$.

	H	Az	CO	O	CO^2	Az^2O	HCl	C^2H^2	SO^2
d	0,062865	0,87508	0,87495	1	1,38324	1,38450	1,14836	0,81938	2,04835
A^1_2	— 0,00064	+ 0, 00038	0,00046	0,00076	0,00692	0,00783	0,00813	0,00866	0,02599
tc	— 234°(?)	— 146°	— 140°	— 118°	31°,35	36°,0	52°,0	37°,0	156°
a	»	0,00105	0,00118	0,00159	0,009131	0,010244	0,010442	0,011278	0,028400
b	»	0,00067	0,00072	0,00083	0,002427	0,002682	0,002599	0,00294[illegible]	0,005350
A^1_0	— 0,00064	0,00038	0,00046	0,00076	0,00674	0,00761	0,00790	0,00840	0,02358
rm	1,00064	0,99962	0,99954	0,99924	0,99326	0,99239	0,99210	0,99160	0,97642
M	2,0145	28,013	28,007	32	44,000	44,000	36,486	26,020	64,050

Conclusions. — 1° Le volume moléculaire à 0° et sous la pression atmosphérique étant égal à 1, pour un gaz qui suivrait exactement la loi de Mariotte, ce volume a la valeur $1 - A^1_0$ pour un gaz qui ne la suit pas. Le volume moléculaire de l'hydrogène, qui est moins compressible à 0° que ne l'exige la loi, est donc supérieur à 1; celui des autres gaz, qui sont plus compressibles, est inférieur à 1.

Il n'existe qu'un seul cas, où le rapport de deux volumes moléculaires ait été mesuré avec une haute précision : c'est le cas des gaz de l'eau. J'y trouve une confirmation précieuse de mes calculs.

En effet, d'après les valeurs des coefficients A^1_2, fournis par l'expérience directe à 16° et donnés plus haut, le rapport des volumes d'hydrogène et d'oxygène, mesurés à 16° et sous 1 atmosphère, qui se combinent pour former l'eau, est représenté par :

$$\frac{H^2}{O} = 2,00243.$$

M. Scott [1] a trouvé, par des mesures eudiométriques directes à la température du laboratoire, température qu'il ne précise pas, mais qui paraît avoir été faite voisine de 16° :

$$H^2 : O = 2,00245.$$

2° Les poids moléculaires des gaz, simples et composés, donnés plus haut, peuvent servir à calculer leurs poids atomiques. Pour les gaz simples (hydrogène et azote), il suffit évidemment de diviser par 2 les poids moléculaires. On obtient ainsi 1,0072 et 14,007.

---

[1] *Proceed. Roy. Soc.*, t. LIII, p. 130. 1893.

Pour les gaz composés, oxygénés ou hydrogénés, sachant que O = 16 par convention, et que H = 1,0072, on obtient le tableau suivant :

CO = 28,007	CO^2 = 44,000	Az^2O = 44,000
O = 16	O^2 = 32,000	O = 16,000
C = 12,007	C = 12,000	Az = 14,000
HCl = 36,486	C^2H^2 = 26,020	SO^2 = 64,050
H = 1,007	H^2 = 2,014	O^2 = 32,000
Cl = 35,479	C = 12,003	S = 32,050

Le poids atomique de l'élément étudié se déduit avec d'autant plus d'exactitude du poids moléculaire du composé correspondant, que cet élément y entre pour une plus forte proportion. Les composés hydrogénés sont plus favorables au calcul que les composés oxygénés. En effet, C forme en poids les $\frac{12}{13}$ de C^2H^2 ; Cl, les $\frac{35}{36}$ de HCl ; tandis que S ne forme que $\frac{1}{2}$ de SO^2 ; Az, moins de $\frac{1}{3}$ Az^2O, et C les $\frac{3}{11}$ de CO^2. Ce dernier cas est le plus défavorable de tous. L'erreur relative sur le poids atomique du carbone, déduit de la densité de CO^2, est presque quadruple de l'erreur qui existe sur cette densité même.

On trouve, en résumé, les poids atomiques suivants :

Hydrogène. — La densité limite de l'hydrogène conduit à H = 1,00724, en adoptant pour le rapport des densités de l'hydrogène et de l'oxygène la valeur 0,062865 de M. Leduc. Si l'on adopte la valeur 0,062892 trouvée par M. Morley, on obtient H = 1,00772. La moyenne de ces deux nombres, H = 1,0075, concorde exactement avec la valeur moyenne qui résulte des nombreuses synthèses de l'eau, faites depuis quelques années.

Carbone. — La densité limite de CO donne 12,007 ; celle de CO^2 donne 12,000 [1] ; celle de C^2H^2 donne 12,003. On peut adopter finalement C = 12,004, nombre identique avec celui qui résulte des meilleures synthèses de CO^2 par combustion du diamant.

Azote. — La densité limite de Az donne 14,007 ; la densité limite de Az^2O donne 14,000. Ce dernier gaz étant plus difficile à obtenir pur et sa densité ayant été l'objet de mesures moins nombreuses

(1) 12,0035, si l'on adopte le nombre de lord Rayleigh.

que celle de Az, nous attribuons plus de poids au premier nombre, et nous adopterons Az = 14,005. Il est intéressant de remarquer que les densités de ces deux gaz nous conduisent, pour le poids atomique de l'azote, à des valeurs concordantes à $\frac{1}{2000}$. Dans le cas de l'azote, en effet, les méthodes chimiques sont fort indirectes et médiocrement concordantes. Stas a obtenu Az = 14,044; mais d'autres cycles de réactions donnent des nombres plus bas, tels que 14,019 (Thomsen, 1894) et 14,012 (Hill, 1894).

Argon. — Selon lord Rayleigh[1] la densité de l'argon par rapport à l'oxygène est 1,24623, et, d'après M. Ramsay, ce nombre n'est pas sensiblement modifié par la présence des nouveaux gaz qu'il a reconnus dans l'air. La compressibilité de l'argon n'a pas été étudiée expérimentalement, mais sachant que ses constantes critiques sont $t_c = -121°$; $p_c = 50$ atmosphères. On peut calculer A_0^1 en appliquant le principe des états correspondants, comme l'a fait M. Leduc, c'est-à-dire en traçant la courbe ayant pour abscisses $t_c + 273$, et pour ordonnées $A_0^1 p_c$ au moyen des données connues sur les gaz à points critiques voisins (Az, CO, O, AzO) et en relevant sur l'abscisse $t = 273° - 121° = 152°$ la valeur du produit $A_0 p_c$ relatif à l'argon. On trouve ainsi $A_0^1 = 0,00070$, $v_m = 0,99930$, M = 39,882.

Chlore. — La densité limite de HCl donne Cl = 35,479. Stas a trouvé [2] par la synthèse du chlorure et par l'analyse du chlorate d'argent Cl = 35,456.

Ce nombre diffère d'une manière sensible de celui auquel nous arrivons par la méthode des densités limites. Comme ce dernier est déduit de la densité d'un seul composé chloré (HCl), préparé d'une seule manière, il est prudent de faire des réserves pour ce cas.

Soufre. — La densité limite de SO^2 conduit à S = 32,050. Stas a trouvé, par la synthèse du sulfure d'argent et par l'analyse du sulfate, S = 32,058, nombre qui concorde à moins de 1 : 3000 avec le précédent.

Pour donner une idée de l'erreur que l'on commettrait dans le cas de SO^2 en prenant la densité normale au lieu de la densité limite, je dirai que l'on en déduirait S = 33,55.

---

(1) *Proceed. Roy. Soc.*, t. LXII, p. 209; 1898.

(2) Cf. le calcul systématique des expériences de Stas, donné par M. Van der Plaats dans les *Annales de Chimie et de Physique* (6e série, t. VII, 1886) et dans les *Comptes Rendus*, t. CXVI, 1893.

En résumé, les calculs précédents justifient le point de vue dont je suis parti, à savoir que l'hypothèse d'Avogadro et d'Ampère, d'après laquelle : *Volumes égaux de tous les gaz renferment même nombre de molécules*, est une loi limite qui se vérifie exactement pour de très faibles pressions. Par suite : *les poids moléculaires des gaz sont proportionnels à leurs densités limites. Ces densités limites s'obtiennent en multipliant leurs densités normales (c'est-à-dire prises à 0° et sous la pression atmosphérique) par le facteur* $1 - A_0^1$, *qui représente l'écart de la compressibilité du gaz par rapport à celle d'un gaz parfait entre* 0 *et* 1 *atmosphère.*

On obtient ainsi les poids atomiques

O	H	C	Az	S	A
16	1,0075	12,004	14,005	32,050	39,882

Cette méthode, purement physique, pour la détermination des poids atomiques, donne, toutes les fois qu'il est possible de préparer les gaz purs, une précision égale à celle des meilleures méthodes chimiques dans un cas où celles-ci sont directes, et peut l'emporter sur elles dans les cas (comme celui de l'azote) où elles sont indirectes.

Sur la stéréoscopie radiographique ;

Par M. V. Chabaud [1].

Tous les tubes producteurs de rayons X ont un maximum de puissance qui correspond à un état de vide particulier, lié intimement à la forme du tube, à la disposition de ses électrodes et aux dimensions de ces dernières.

Il était impossible jusqu'ici de conserver un tel tube à sa puissance maximum, le fonctionnement ayant pour effet de modifier peu à peu sa résistance, de telle sorte qu'après un certain nombre d'opérations, le courant refuse de passer dans l'ampoule.

L'osmo-régulateur de M. Villard permet aujourd'hui d'amener le tube qui le porte à un degré de vide donné et de le maintenir indéfiniment dans cet état, puisque l'on peut ou bien introduire du gaz

---

[1] Séance du 3 novembre 1898.

dans le tube, opération qui aura pour but de diminuer sa résistance (dispositif indiqué par la *fig.* 1), ou bien extraire du même tube une

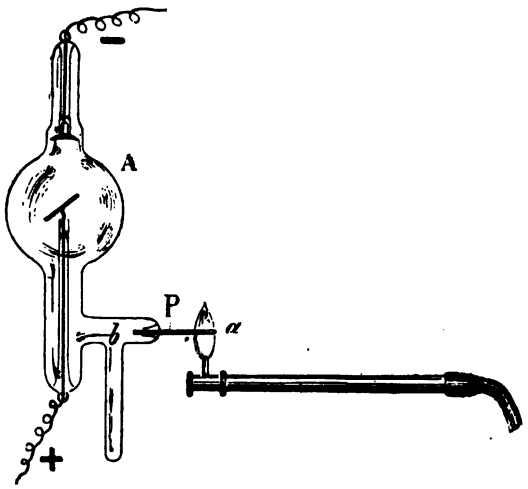

Fig. 1.

partie du gaz qu'il contient, opération qui aura pour but d'augmenter sa résistance (dispositif indiqué par la *fig.* 2).

On conçoit que, si la résistance que l'on donne au tube est celle correspondant à son maximum de puissance, on obtiendra des radiographies avec des temps de pose aussi réduits que possible.

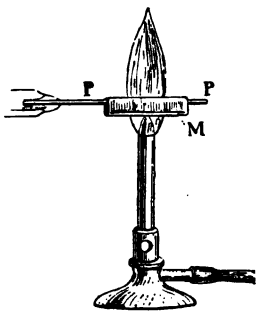

Fig. 2.

Toutes les bobines d'induction, d'autre part, ne fournissent pas des étincelles de même nature, et, en employant une bobine fournissant une étincelle de 35 centimètres et un tube réglé à une résis-

tance R, j'ai dû poser 3 minutes pour obtenir un thorax d'adulte que j'obtenais en 20 secondes avec une bobine d'induction qui fournissait une étincelle de 25 centimètres et le même tube réglé à la même résistance R. Dans le premier cas, la dépense était de 30 volts et 15 ampères moyens, soit 450 watts, alors que, dans le second cas, elle était de 12 volts et 10 ampères moyens, soit 120 watts.

En revanche, l'écran au platinocyanure de baryum était beaucoup plus lumineux lorsque le tube était actionné par la bobine donnant l'étincelle de 35 centimètres, que lorsqu'il était actionné par celle donnant l'étincelle de 25 centimètres. Il semble que l'étincelle qui convient le mieux à la radiographie n'est pas celle qui convient le mieux à la fluoroscopie et que telle bobine qui convient très bien à l'un de ces usages ne convient pas nécessairement à l'autre.

L'interrupteur, de son côté, n'est pas sans jouer un rôle important en radiographie. J'ai construit, sur les indications de M. Villard, un instrument de ce genre, basé sur l'action des aimants sur les courants.

Cet instrument, qui a été décrit par l'auteur à la Société de Physique, permet d'obtenir avec la bobine d'induction Carpentier n'ayant entre joues qu'une longueur de 36 centimètres, une étincelle de 25 centimètres de longueur.

Avec la bobine, l'interrupteur à mercure, le tube muni de son osmo-régulateur, dont j'ai parlé plus haut, et une batterie de six accumulateurs, j'ai radiographié toutes les parties les plus épaisses du corps humain en moins de cinq minutes.

Le tableau ci-dessous indique les temps de pose auxquels je me suis arrêté pour obtenir de bons clichés.

Tête, 2 à 5 minutes.
Bassin d'adulte, 2 à 5 minutes.
Thorax d'adulte, 10-30-60 secondes.
Genou et cuisse, 30 secondes.
Pied, pour la partie la plus épaisse, 10-15 secondes.
Bras, 10-15 secondes.
Main, 5-10 secondes.

Ces rapidités de pose ont, sans aucun doute, été déjà obtenues, mais avec des éléments beaucoup plus puissants ; j'aurais pu diminuer encore les temps de pose, si j'avais rapproché le tube du corps à photographier, ce qui, dans le cas particulier de mes tubes, ne changerait absolument rien à la netteté et à la finesse des clichés.

Dans toutes les expériences que j'ai faites, le tube se trouvait à une distance de la plaque photographique variant entre 40 et 50 centimètres.

Pour éviter les insuccès et obtenir, en toute sûreté, toutes les radiographies des différentes parties du corps humain, j'ai adopté le mode opératoire suivant :

La première chose à faire est de chercher quelle doit être la résistance du tube pour qu'il donne les meilleurs résultats. Quelques radiographies d'essai permettront de déterminer cette résistance optima mesurée par l'étincelle équivalente. Avec la bobine dont je disposais, dont la longueur maxima d'étincelle était de 25 centimètres, le maximum de puissance du tube était atteint quand l'étincelle passait indifféremment par le tube ou entre deux fils de cuivre fixés aux bornes de la bobine et rapprochés à 10 ou 12 centimètres, comme l'indique la *fig.* 3.

Cette résistance ayant alors été réalisée au moyen de l'osmo-régulateur, les fils de cuivre ont été éloignés jusqu'à laisser entre leurs extrémités une distance de 15 à 16 centimètres; la bobine étant mise en activité, le courant passait ainsi uniquement par le tube. La résistance de celui-ci augmentant peu à peu au courant des expériences, au bout de quelque temps, l'étincelle passait entre les fils de cuivre *cc'*; il était dès lors indiqué de chauffer l'osmo-régulateur pour ramener le tube à sa résistance initiale correspondant à environ 11 centimètres d'étincelle.

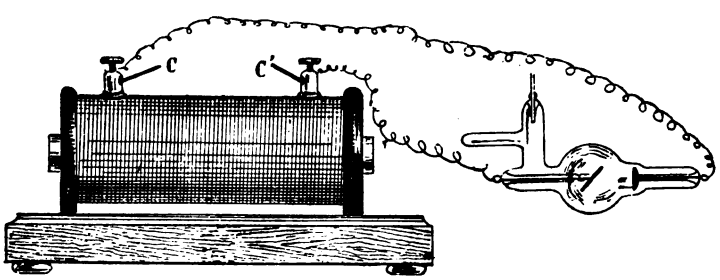

Fig. 3.

Ce résultat, facile à obtenir avec tous les tubes et toutes les bobines d'induction, permet donc d'obtenir avec toute sûreté une épreuve, pourvu qu'une semblable ait été obtenue une fois.

J'ai fait pour le développement du cliché ce qui m'avait réussi

pour la prise de l'épreuve, c'est-à-dire que j'ai éliminé, en procédant méthodiquement, tous les insuccès pouvant venir de cette partie opératoire.

J'ai employé le développateur dont la formule est la suivante :

Solution A { Eau, 500 grammes ;
Sulfite de soude, 50 grammes ;
Pyrocatéchine, 10 grammes.

Solution B { Eau, 500 grammes ;
Phosphate de soude tribasique, 100 grammes.

Pour développer une plaque 24 × 30, j'ai versé dans la cuvette photographique :

125 centimètres cubes de bain A ;
125 centimètres cubes de bain B ;
1 centimètre cube de solution de bromure de potassium à 10 0 0.

Ce bain a développé le cliché d'un genou, d'un pied, d'un thorax, en trente minutes ou vingt minutes ;

Le cliché d'un bassin, en quarante minutes ;

Le cliché d'une main et d'un bras, en vingt minutes ou dix minutes.

La rapidité avec laquelle j'ai pu obtenir toutes les parties du corps humain et la simplicité du dispositif nécessaire pour l'obtention assurée d'une bonne épreuve photographique m'ont conduit à étudier un matériel stéréoscopique.

La méthode stéréoscopique est, en effet, la seule qui permette au médecin de juger de la place occupée par un corps étranger, en même temps qu'elle lui donne le relief exact des os du squelette.

Beaucoup d'opérateurs ont appliqué la stéréoscopie, mais généralement à l'examen d'objets peu épais.

Les temps de pose se sont d'ailleurs jusqu'ici opposés à l'extension de cette méthode, car on ne pouvait guère songer à obtenir deux épreuves de pièces épaisses, quand on se trouvait parfois très heureux d'en obtenir une seule.

Le travail le plus important qui ait été fait sur cette question est certainement celui de MM. Marie et Ribaut. Je me suis servi du tableau dressé par ces auteurs pour fixer la distance à donner aux deux foyers employés pour obtenir les deux épreuves stéréoscopiques. M. Destot, de Lyon, s'est occupé de la même question et a cherché à donner au médecin un moyen de voir directement le relief

stéréoscopique sur les négatifs aussitôt leur développement terminé. J'ai cherché la solution du même problème et l'ai résolu au moyen des appareils décrits ci-dessous.

Le matériel stéréoscopique comprend :

1° L'appareil servant à faire les deux radiographies ;

2° L'appareil servant à observer les épreuves obtenues : c'est l'appareil de M. Cazes auquel M. Pellin a apporté quelques modifications de détail ;

3° L'appareil servant à éclairer les négatifs et à les repérer.

Appareil servant à prendre les deux épreuves radiographiques. — Cet appareil (*fig.* 4) se compose d'une planchette horizontale P, dans l'épaisseur de laquelle glisse à frottement doux un tiroir E. Le tiroir renferme une série d'intermédiaires photographiques qu'au moyen d'un dispositif simple on peut orienter en longueur ou en largeur par rapport au sujet à photographier.

Des traits tracés sur la planchette P correspondent exactement aux divers intermédiaires qui sont dans le tiroir.

Le support P reçoit à ses deux extrémités deux tiges S, S, sur lesquelles glisse, sur toute la hauteur, une tige transversale T.

La tige T, cylindrique à ses deux extrémités, présente au centre, sur une certaine longueur, une section carrée. Cette partie centrale est divisée ; elle reçoit deux curseurs C_1, C_2, munis de vis de pression, et un curseur central C, armé lui-même d'une oulisseau B. Une pince M à la longue tige glisse dans le coulisseau B.

La pince M est ainsi mobile en tout sens ; sur la tige de cette dernière vient se fixer une deuxième pince mobile sur son axe. Ces deux pinces et leur mouvement permettent d'orienter tous les tubes, de quelque forme qu'ils soient.

Le jeu de l'appareil est le suivant : On commence par placer la partie qu'on veut radiographier au centre du rectangle correspondant à la plaque qu'on emploiera ; on mesure l'épaisseur de la pièce qu'on veut radiographier et la distance du foyer du tube à la paroi la plus proche de cette partie ; on en déduit la valeur du déplacement qu'on devra imprimer au tube.

Le tableau dressé par MM. Marie et Ribaut fournit directement cette mesure.

On glisse sur la tige le porte-tube C, de façon que le foyer de l'ampoule coïncide avec un point qui serait à droite ou à gauche du centre de la plaque, à une distance de celui-ci égale à la demi-valeur

du déplacement total, on butte sur C le curseur C_2, et l'on place C_1 à une distance de C_2 telle que C puisse parcourir exactement entre C_1 et C_2 la distance fournie par le tableau. L'instrument est alors prêt à fonctionner. Il ne reste qu'à mettre la plaque photographique

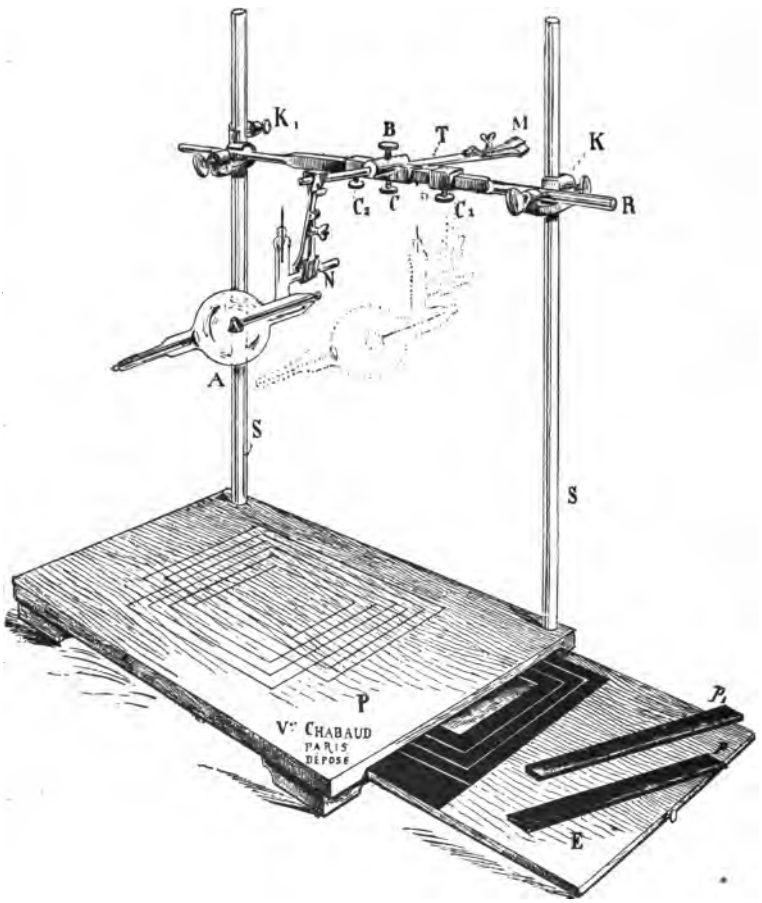

FIG. 4.

dans le tiroir, à faire fonctionner le tube, puis à retirer la plaque pour la remplacer par une seconde, à déplacer le tube, en venant butter C contre C_1, et à faire la deuxième épreuve. La partie qu'on radiographie doit rester immobile pendant ces deux opérations.

Appareil servant à éclairer les négatifs et à les repérer. — L'appareil

qui sert à éclairer les négatifs (*fig.* 5) se compose d'un cadre rectangulaire en bois ABCDE, portant en V une glace, et en V_1, un verre opale faisant avec V un angle d'environ 45°. Le cadre tout entier, supporté par une planchette P, peut prendre toutes les inclinaisons possibles et être arrêté dans une position quelconque au moyen d'un écrou de serrage L.

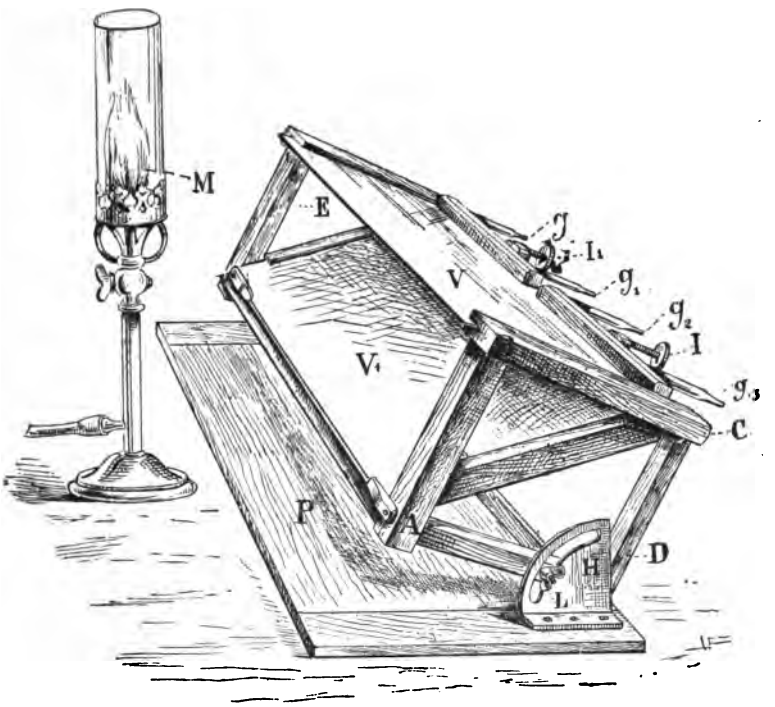

Fig. 6.

Sur la glace V, deux planchettes, guidées chacune par deux ressorts gg_1, g_2g_3, peuvent être poussées ou rappelées par les vis I_1, I.

Le jeu de cet instrument est le suivant : Les deux négatifs, développés et séchés à l'alcool absolu, sont placés sur V, appuyés l'un sur gI_1g_1, l'autre sur g_2Ig_3. Le cadre est orienté de façon que la lumière, frappant V_1, soit réfléchie sur V.

L'appareil de M. Cazes, placé entre g_1 et g_2, est disposé au-dessus des négatifs. La superposition des images est obtenue par les

vis I_1, I, le déplacement dans le sens du grand côté du rectangle étant fait à la main.

L'appareil peut être éclairé par la lumière du jour ou par toute lumière artificielle qu'on voudra y adapter.

Le même appareil peut servir à l'examen des épreuves stéréoscopiques sur papier; il suffit de laisser les pieds A, D, toucher la planchette P pour avoir V horizontal.

J'ai pensé que, si la stéréoscopie pouvait rendre des services importants en permettant au chirurgien de savoir si un corps étranger se trouvait au-dessus d'un os ou au-dessous de celui-ci, il ne serait peut-être pas sans intérêt de pouvoir déterminer avec une certaine rigueur la position d'un corps étranger dans le corps humain par rapport à un point connu du même squelette, ces deux points étant pris dans un même plan ou dans des plans peu différents.

M. Cazes a bien voulu calculer pour moi le tableau ci-dessous, qui renferme les coefficients par lesquels on doit multiplier les moyennes des deux distances mesurées sur les deux épreuves stéréoscopiques pour obtenir la distance réelle entre les deux points considérés.

Enfin il est un point qui m'a paru très important: c'est l'inversion du relief que l'on obtient, si l'on intervertit la position des deux épreuves sur l'appareil stéréoscopique; elle fournit un contrôle presque indispensable dans certains cas.

Une main paraîtra ainsi vue successivement par la face dorsale ou par la face palmaire. Supposons qu'un corps étranger, tel qu'une aiguille, se trouve dans cette main : s'il apparaît placé au-dessous des os dans un cas, il apparaîtra placé au-dessus de ceux-ci dans l'autre; aucune hésitation ne pourra donc subsister sur la position réelle occupée par ce corps par rapport au squelette. Cette remarque permettra, en outre, de replacer toujours les deux épreuves dans l'ordre qui convient pour voir la main telle qu'elle a été radiographiée.

Je reconnais, avec MM. Marie et Ribaut, que le relief est moins exact dans le cas où les épreuves sont examinées dans l'ordre opposé à celui dans lequel elles ont été prises; néanmoins, comme je l'ai déjà dit, je crois cette indication absolument précieuse.

En résumé, avec un tube bien réglé et une source électrique relativement faible, on peut faire toutes les parties du corps humain en moins de cinq minutes.

TABLEAU DONNANT LE FACTEUR PAR LEQUEL IL FAUT MULTIPLIER LA DISTANCE MOYENNE MESURÉE SUR LES ÉPREUVES POUR OBTENIR LA DISTANCE RÉELLE DE DEUX POINTS.

(*Applicable seulement au cas où les deux points sont à la même hauteur au-dessus de la plaque.*)

Distance de la plaque à la source radiograph.	Hauteur commune des points réels au-dessus de la plaque (En centimètres)														
	2	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**	**22**	**24**	**26**	**28**	**30**
24	0.915	0 835	0.75	0.665											
26	0.92	0.85	0.77	0.69	0.615										
28	0.93	0.86	0.785	0.715	0.64	0.57									
30	0.935	0.87	0.80	0.73	0.67	0.60	0.535								
32	0.94	0.875	0.81	0.75	0.69	0.625	0.56								
34	0.94	0.88	0.825	0.765	0.705	0.645	0.59	0.53							
36	0.945	0.89	0.83	0.78	0.72	0.67	0.61	0.555	0.50						
38	0.95	0.895	0.84	0.79	0.735	0.685	0.63	0.58	0.525						
40	0.95	0.90	0.85	0 80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50					
42	0.955	0.905	0.855	0.81	0.76	0.715	0.665	0.62	0.57	0.525	0.475				
44	0.955	0.91	0.865	8.82	0.77	0.725	0.68	0.635	0.59	0.515	0.50				
46	0.96	0.915	8.87	0.825	0.78	0.74	0.695	0.65	0.61	0.565	0.52	0.48			
48	0.96	0.92	0.875	0.83	0.79	0.75	0.71	0.67	0.625	0.585	0.54	0.50	0.46		
50	0.96	0.92	0.80	0.84	0.80	0.76	0.72	0.68	0.64	0.60	0.56	0.52	0.48	0.44	
52	0.962	0.925	0.885	0.845	0.81	0.77	0.73	0.69	0.655	0.615	0.58	0.54	0.50	0.46	0.425

Avec le matériel stéréoscopique que j'ai établi, on peut trouver un corps étranger dans le corps humain ; on peut sans hésitation connaître la place occupée par ce corps; on peut en déterminer la distance par rapport à un point connu du squelette; enfin on peut en quelques instants prendre deux épreuves radiographiques, les développer, les examiner au stéréoscope et en tirer immédiatement une conclusion.

Tout ceci n'était possible qu'à condition de faire deux épreuves de parties du corps, même très épaisses, en un temps très court.

Quelques propriétés des transformateurs Wydts-Rochefort. — Interrupteurs rotatifs. — Interrupteur à mouvement rectiligne par guide liquide ;

Par M. O. Rochefort [1].

J'ai présenté à la Société de Physique, le 6 mai dernier, un nouveau transformateur; j'ai construit, depuis, un type plus puissant, donnant 45 centimètres d'étincelle avec 12 volts et 6 ampères. De plus, j'ai trouvé que nos transformateurs à un seul enroulement ou à plusieurs enroulements montés en quantité jouissent de propriétés particulières :

1° Entre le sol et le pôle du secondaire correspondant au point de départ de l'enroulement voisin du primaire, on obtient une étincelle environ dix fois plus courte que celle qu'on obtient à l'autre pôle secondaire;

2° Si on relie le pôle de petite tension à la terre, la tension à l'autre pôle augmente, et l'étincelle qui jaillit entre ces deux pôles paraît gagner en intensité. Nous disons dans ce cas que le transformateur est rendu unipolaire;

3° Dans un transformateur unipolaire, le primaire (aux environs du godet à mercure, par exemple) peut donner de petites étincelles gênantes; pour les faire cesser, il suffit de réunir le primaire lui-même à la terre; la borne du primaire à réunir à la terre est indifférente;

4° Si on place un tube de Crookes sur un transformateur unipo-

---

[1] Séance du 18 novembre 1898.

laire, il fonctionnera avec un de ses pôles à la terre, et l'autre au pôle à tension du transformateur. Un tube de Crookes trop dur devient plus mou et donne des rayons X, si on rend le transformateur unipolaire. Il semble qu'il conviendrait d'étudier un genre de tubes particuliers pour les unipolaires; le renforcement de l'étincelle visible ne donne pas une amélioration sensible dans la production des rayons X d'un tube normal. Pour les unipolaires, le rendement est meilleur si on emploie des tubes à anode simple. Il semble indifférent que ce soit l'anode ou la cathode qui soit à tension nulle au point de vue de la production des rayons X.

Le transformateur donne, avec le résonateur Oudin, des effluves plus courtes et plus puissantes quand on le rend unipolaire;

5° Si on relie le pôle à tension de l'unipolaire à une plaque métallique posée sur un tabouret isolant, on obtiendra sur cette plaque les mêmes effets que si elle était reliée à une machine statique munie d'un condensateur;

6° Les transformateurs dissymétriques peuvent s'accoupler : les primaires en tension ou en quantité, et les secondaires en tension ou en quantité. Nous n'avons encore fait ces essais que sur des accouplements de deux transformateurs, et tout ce qui suit se rapporte à deux jusqu'à présent.

Les primaires en quantité donnent les mêmes résultats qu'accouplés en tension; ce dernier genre d'accouplement est plus simple, et nous l'adopterons. Le condensateur qui convient pour le primaire à self-induction maximum convient pour l'ensemble des deux accouplés en tension.

Pour relier en tension les deux secondaires, on reliera les deux pôles à petite tension et on obtiendra entre les deux autres pôles une étincelle de longueur presque double de celle donnée par chaque transformateur séparé.

Si les deux transformateurs sont rigoureusement semblables, la tension est nulle aux pôles qui sont reliés; la tension du secondaire aux environs du primaire est pratiquement nulle; ni étincelles ni effluves n'ont tendance à se produire entre ces deux circuits.

Si nous accouplons de la même manière deux transformateurs égaux, mais portant chacun deux bobines en tension, ce qui rend les tensions égales aux deux pôles, et que nous fassions prudemment les mêmes essais avec le même accouplement, une étincelle jaillira entre les deux pôles libres, la tension aux deux pôles réunis

sera nulle comme précédemment. Mais une tension dangereuse se produit entre le primaire et le secondaire, au point milieu de l'enroulement de chaque transformateur, point qui est justement le plus près du primaire.

L'accouplement en quantité peut se faire pour des transformateurs symétriques ou non; mais pour les symétriques il faudrait se garder de la réunion à la terre, dangereuse pour ces genres de transformateurs.

Interrupteur rotatif à mercure. — Cet interrupteur rotatif a un moteur électrique bas et stable, muni d'un rhéostat pour régler sa vitesse. La tige de cuivre rouge plongeant dans le mercure est à

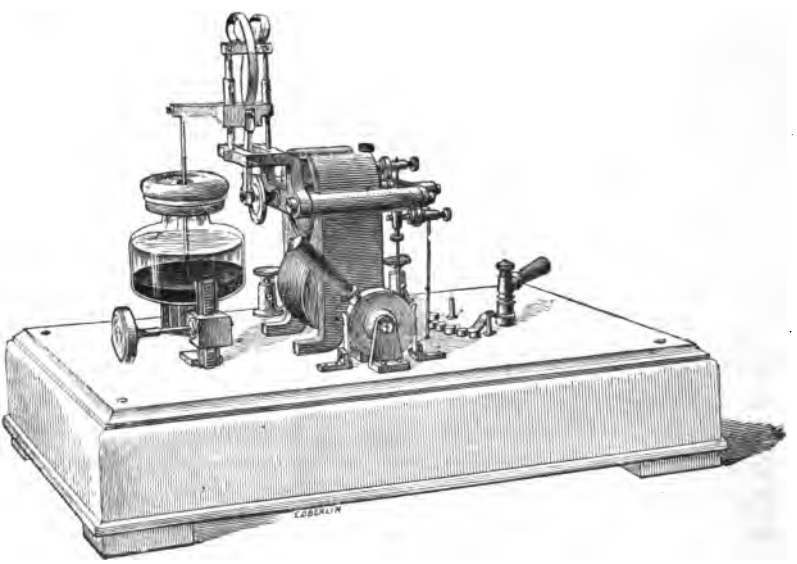

Fig. 1.

l'extrémité d'un support en aluminium. Ce support coulisse sur deux glissières en acier et est commandé par bielle et manivelle l'attaquant par le milieu. La hauteur du godet à mercure est réglable en marche. Le moteur marche en dérivation sur le circuit primaire et par source séparée; sa vitesse n'est pas influencée par le débit du transformateur. La dépense est de 0 amp., 8 sous 6 volts.

Interruptif rotatif à contact métallique cuivre sur cuivre (*fig.* 1). — Le moteur est le même que précédemment et est muni du même rhéo-

stat. Un contact en cuivre rouge est vissé à l'extrémité d'une tige d'acier vertical. Un ressort à boudin fait effort au repos pour donner le contact. La tige est guidée par deux glissières fixes. Un canon mobile commandé par la bielle du moteur glisse le long de la tige et vient rencontrer un arrêt circulaire fixé à cette tige. La durée du contact pendant le temps d'une rotation est réglée à volonté en faisant monter le godet qui porte la plaque de cuivre rouge sur laquelle pose l'extrémité de la tige.

La plaque-contact du godet peut se déplacer, ce qui permet d'user successivement toute sa surface et de la changer après l'usure. Le contact de la tige se remplace de même très facilement en le dévissant.

Interrupteur à mouvement rectiligne par guide liquide (*fig.* 2). — Cet interrupteur est du genre Foucault; il permet d'obtenir, avec

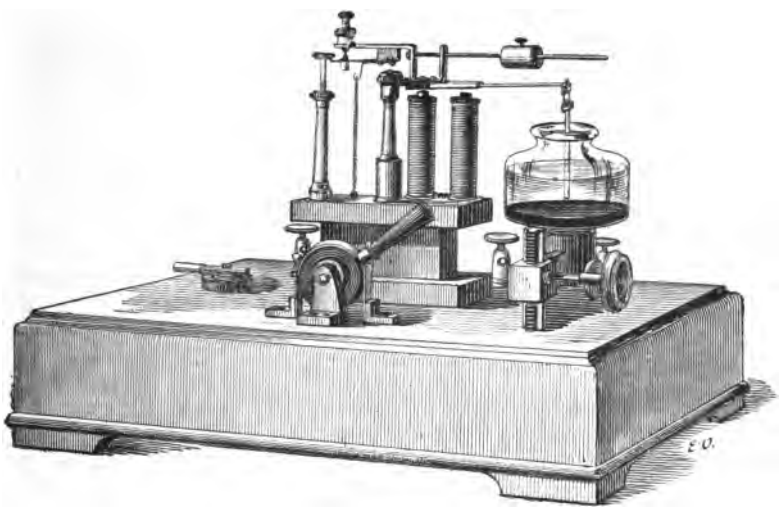

Fig. 2.

une course dépassant 1 centimètre et demi, des interruptions extrêmement rapides, comparables à celles des diapasons.

Le mouvement de la tige dans le liquide (mercure surmonté de pétrole) est un mouvement vertical ; la tige, étant guidée par le liquide lui-même, ne donne pas d'à-coups à ce liquide, ce qui empêche les projections qui se produiraient toujours, si une tige guidée extérieurement montait et descendait dans un liquide à ces vitesses.

Le trembleur est mû par un électro-aimant vertical, au-dessus duquel une armature de fer doux peut osciller. Au-dessus de l'armature est fixé un support en cuivre, qui forme (à gauche de la figure) une pince, avec une lame de ressort fixé en dessous par l'intermédiaire d'un isolant. La pince serre, l'un contre l'autre, deux contacts de platine. A la partie supérieure d'une petite colonne, est une vis moletée en cuivre à filets très hauts, au-dessus de la tête de laquelle le ressort de la pince vient buter ; l'extrémité de la partie en cuivre peut passer devant le bouton molleté sans le toucher. Le courant passe par la colonne centrale, puis par le support, les deux contacts en platine et, enfin, par le ressort de la pince et un conducteur ; il se rend à l'électro-aimant et à la source. Si on fait passer le courant, l'attraction fait baisser l'armature; la tête de la vis de la colonne relevant la pince, le ressort inférieur de celle-ci rencontre le bouton molleté, la pince s'ouvre et le courant ne passe plus; sous l'action du ressort qui la supporte, l'armature se relève et le contact s'établit de nouveau à la pince. En réglant en marche la hauteur du bouton molleté, on peut faire varier l'amplitude de l'oscillation de l'armature ; pour faire varier la durée, on déplace le poids sur la tige ronde fixée au-dessus de l'armature. En enlevant ce poids, les oscillations deviennent extrêmement rapides, de 6 à 9 mille à la minute.

Une tige de cuivre rouge légèrement aplatie plonge dans le mercure qui est surmonté de pétrole ; on réunit l'extrémité supérieure de cette tige à l'extrémité de la tige oscillante, au moyen d'un flexible (formé de plusieurs feuilles de clinquant); quand la tige oscillante est animée d'un mouvement d'une certaine rapidité, la tige guidée par le liquide se déplace rigoureusement dans le plan qui passe par le milieu de la flèche de l'arc d'oscillation.

Le trembleur ainsi construit ne dépense pour sa marche que 3/10 d'ampère sous 6 volts; cet interrupteur peut se placer sur le secteur, au moyen de dérivations prises sur le rhéostat du primaire, — dérivations qu'on peut changer pendant la marche, de façon à régler la vitesse du trembleur. Il peut fonctionner avec n'importe quel voltage, par suite de la possibilité de réduire à volonté le temps du passage du courant dans les bobines de l'électro-aimant.

RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS

FAITES PENDANT L'ANNÉE 1898.

SÉANCE DU 7 JANVIER 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 17 décembre est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BARBILLION (Louis), Licencié ès sciences physiques, Ingénieur électricien diplômé, à Paris.
CRÉMIEU (Victor), Licencié ès sciences physiques, à Paris.
DÉCOMBE, Licencié ès sciences physiques, à Paris.

On procède à l'élection de la *Commission des Comptes :* MM. *Girardet, Pollard* et le lieutenant-colonel *Renard* sont élus pour vérifier les comptes de l'année 1897.

Nouvelle lampe à acétylène. — La lampe à acétylène présentée par M. CHABAUD se compose d'un vase en porcelaine destiné à contenir le carbure de calcium surmonté d'un vase en verre destiné à renfermer l'eau. Ces deux récipients sont reliés l'un à l'autre au moyen d'un dispositif en verre constitué par deux tubes concentriques. Le tube intérieur permet au liquide du récipient en verre de n'arriver que goutte à goutte sur le carbure ; il est de construction telle que le nombre des gouttes augmente lorsque la pression diminue dans le vase renfermant le carbure, et diminue lorsque la pression augmente dans le même récipient. Le tube extérieur permet au gaz qui est produit dans le vase en porcelaine de se refroidir en gagnant la tubulure qui est raccordée au moyen d'un tube souple à un bec d'éclairage qui surmonte l'ensemble de l'appareil. L'appareil de M. Chabaud est à la fois une lampe portative ou un gazogène portatif. Il est utilisé comme lampe portative lorsque l'on raccorde directement à un bec d'éclairage qui surmonte l'appareil la tubulure qui com-

munique avec le récipient en porcelaine ; il est utilisé comme gazogène portatif, quand on raccorde la tubulure qui communique avec le récipient en porcelaine à une lampe de bureau, à une lampe de piano, à un bec de Bunsen spécialement établi pour brûler l'acétylène, ces différents appareils pouvant être placés à une certaine distance du gazogène.

M. Chabaud montre aussi un type de lampe différent du premier, en ce sens qu'il n'y a sur ce modèle aucun tube souple. Dans ce modèle le vase en porcelaine est relié par un joint étanche au vase en verre qui le surmonte; entre les deux récipients se trouve le même régulateur étudié par M. Chabaud. Le tube qui amène le gaz acétylène au brûleur surmontant l'appareil traverse de part en part le vase en verre et l'eau qu'il contient. La condensation de l'eau et des produits volatils entraînés par le gaz se fait donc dans ce type dans le tube enveloppé de toutes parts par l'eau qui alimente la lampe.

M. Broca a étudié systématiquement les propriétés utilisables dans divers cas pour mettre les instruments de mesure à l'abri des oscillations du sol. Il a vu que l'isolement d'un support de galvanomètre sur caoutchouc donnait les plus mauvais résultats. Il a attribué ceci à ce que les oscillations, sûrement absorbées par le caoutchouc, changeaient de nature par sa présence. L'étude de la synchronisation des oscillants montre, en effet, que l'énergie d'une oscillation synchronisante a moins d'importance que son accord avec l'oscillation synchronisée. Si donc les oscillations sont transformées de manière à ce que leur période se rapproche de celle du système magnétique considéré comme oscillant autour de son point de suspension, l'effet sera mauvais.

L'étude faite au bain de mercure a montré que le système sur caoutchouc transmettait des oscillations plus lentes que celles du sol.

Dans le cas du galvanomètre il faut employer la suspension Julius. Celle-ci peut être réduite à une extrême simplicité et donner déjà des résultats excellents. Il suffit de suspendre par trois fils une planchette lourdement chargée et munie de quatre larges ailes en bois plongeant dans des vases pleins d'huile.

Enfin, pour l'équipage lui-même, il faut avoir la suspension la plus longue possible, car les oscillations transmises ont toujours une courte période.

Mais, si le caoutchouc seul donne de mauvais résultats dans ce cas, il n'en est pas de même quand on n'a plus de système oscillant à période lente. Ainsi, pour les pointés délicats de l'optique, l'isolement par cale de caoutchouc d'une lourde table permet de faire sur celle-ci d'excellentes mesures.

D'excellentes cales en caoutchouc sont faites par M. Anthoni pour l'isolement des moteurs à gaz, et donnent les meilleurs résultats dans le cas qui nous occupe.

M. Guillaume rend compte des expériences faites par M. John Burke, *sur l'absorption de la lumière par les corps fluorescents.* L'auteur a démontré, par divers procédés, qu'un corps susceptible d'émettre de la lumière fluorescente absorbe des radiations analogues à celles qu'il émet plus fortement lorsqu'il est excité que lorsqu'il est obscur.

Ce phénomène ne pourrait être rattaché directement à la loi de Kirchhoff que si l'on attribue, aux éléments fluorescents du corps absorbant, une température fictive correspondant aux radiations qu'ils émettent. Mais cette généralisation de la notion de température conduirait à modifier sensiblement nos idées sur l'essence même de la température, considérée jusqu'ici comme dépendant d'un certain mouvement d'ensemble des molécules, avec une répartition bien déterminée de tous les états vibratoires.

Il semblerait plus simple de modifier l'énoncé même de la loi de Kirchhoff, dont on ferait disparaître explicitement la notion de température.

L'expérience de M. Burke indique qu'un corps est absorbant lorsque, pour une cause excitatrice quelconque, il émet actuellement cette radiation. L'énoncé de la loi de Kirchhoff devrait être déduit de ce fait très général.

On peut d'ailleurs imaginer un modèle mécanique du phénomène. Si l'on donne, à un pendule oscillant librement, des chocs dirigés dans le sens de son mouvement à chacun de ses passages par la position d'équilibre, il absorbera une partie de leur énergie. Si maintenant on oblige le pendule à exécuter des oscillations forcées d'une période différente, il absorbera de nouveau partiellement les chocs qui lui seront donnés synchroniquement à son nouveau mouvement. L'analogie avec le phénomène découvert par M. Burke n'est pas parfaite, mais elle peut aider à le comprendre.

M. Le Chatelier a étudié, en collaboration avec M. Coupeau, une méthode pour la mesure des dilatations qui permet d'atteindre la température de 1000° et est, en même temps, assez simple pour convenir aux laboratoires d'usine. On procède par comparaison avec une tige de porcelaine, dont la dilatation a été déterminée, par des expériences antérieures. La différence de dilatation entre le corps étudié et cette tige-étalon est mesurée par l'inclinaison d'un petit miroir fabriqué en silice fondue et capable de supporter, sans altération, des températures très élevées.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1896-1897.

MESSIEURS,

La Commission que vous avez nommée dans votre précédente réunion a l'honneur de vous rendre compte de l'exécution de son mandat.

Le compte de l'exercice clos le 30 novembre dernier comprend les articles suivants :

Recettes.

En caisse au 1er décembre 1896		66,69
Cotisations antérieures	190	
» 1897	8 220	
» 1898	90	8 500,00
Entrées		180,00
Souscriptions perpétuelles		1 430,00
Intérêt du capital		2 071,00
Vente des publications de la Société		380,30
Subvention ministérielle		240,00
Remboursement de 7 obligations Est		3 465,83
TOTAL DES RECETTES		16 333,82

Dépenses.

Loyer du siège social		600,00
Supplément pour séances extraordinaires et emploi des machines		264,85
Traitement de l'agent		2 000,00
Achats de livres et fournitures pour la bibliothèque		256,10
Abonnements et reliures		387.85
Indemnité pour le service de la bibliothèque		300,00
Bibliothèque circulante		58,40
Frais de bureau, distribution du *Bulletin*		764,45
Recouvrement des cotisations		177,01
Frais d'expériences		154,50
Séance de Pâques		823,80
Entretien de la tombe de Fresnel		30,00
Gravure du *Bulletin*		173,30
Impressions Gauthier-Villars et fils	2 766,65	
— Deslis frères	2 810,75	5 577,40
Achat de 8 obligations Ouest		3 628,00
TOTAL DES DÉPENSES		15 195,66
D'où résulte un excédent de recettes, en caisse au 1er décembre 1897, de		1 138,16
TOTAL ÉGAL A CELUI DES RECETTES		16 333,82

Si dans le résumé ci-dessus on laisse de côté l'encaisse au début de l'Exercice, les souscriptions perpétuelles, le remboursement et l'achat des obligations, on voit que les recettes normales de la Société ont été pendant l'Exercice de 11 371 fr. 30, tandis que les dépenses courantes ont atteint 11 567 fr. 66.

Il y a donc un excédent de dépenses de 196 fr. 36.

La Société a, comme l'année dernière, à peu près équilibré ses recettes et ses dépenses.

Détail des comptes relatifs aux publications.

MM. Gauthier-Villars et fils :

	fr.
Bulletin des séances	2 119,90
Ordres du jour des séances (Novembre-Décembre 1895)	226,20
Circulaires et impressions diverses	371,65
Expédition de volumes	8,90
Abonnements aux *Comptes Rendus* (1896)	40,00
TOTAL	2 766,65

MM. Deslis Frères :

	fr.
Bulletin des séances	1 661,95
Ordres du jour des séances (17 juillet 1896 à 19 mars 1897)	815,80
Circulaires et impressions diverses	222,50
Remboursé au *Journal de Physique*	110,50
TOTAL	2 810,75

Situation.

La situation de la Société au 30 novembre 1897 se résume ainsi :

Actif.

	fr.
149 obligations Midi, Est et Ouest, achetées 60 844 fr. 07 et valant au 30 novembre 1897	71 820,00
En caisse au 30 novembre 1897	1 138,16
TOTAL DE L'ACTIF IMMÉDIATEMENT RÉALISABLE	72 958,16

Passif.

Mémoires dus à MM. Deslis Frères :

	fr.	
Bulletin des séances	859,50	
Ordres du jour des séances	399,80	
Envois divers	14,75	
TOTAL		1 274,05

D'où ressort un excédent d'actif de..... 71 684,11

Si on ajoute la valeur de l'actif non immédiatement réalisable, savoir :

Volumes en dépôt chez MM. Gauthier-Villars et fils :

Coulomb.....	613 volumes	3 736 volumes à 6fr l'un..	22 416,00
Ampère I.....	671 »		
— II.....	787 »		
Pendule I.....	785 »		
— II.....	880 »		

Cotisations à recouvrer, évaluées à..... 500,00

On obtient pour l'*avoir total de la Société*..... 94 600,11

Dans l'actif de la Société se trouvent comprises deux sommes provenant de dons et ayant des affectations spéciales, savoir :

Fonds Guébhard pour la bibliothèque..... 9 000,00
Don pour le volume des Constantes..... 5 000,00

Statistique.

Au 1er décembre 1896..... 865 Membres
Reçus en 1897..... 43 —
TOTAL..... 908
A déduire :
Décédés..... 10 } 33
Démissionnaires ou rayés..... 23 }
Membres au 1er décembre 1897..... 875
Savoir :

409 à Paris,
312 en province,
154 à l'Etranger.
875

Les membres perpétuels sont au nombre de 250, savoir :

228	(dont 32 décédés, ayant versé	200 francs),	soit.....	45.600
10	— 1 —	150	.....	1.500
5	— 1 —	100	.....	500
7		50	.....	350
	MONTANT DES SOUSCRIPTIONS PERPÉTUELLES.....			47.950

La Commission a constaté l'ordre et la régularité des écritures tenues par M. le Trésorier et elle vous propose d'approuver les comptes en lui adressant des remerciements pour le soin et le dévouement qu'il ne cesse d'apporter dans l'accomplissement de sa tâche.

Paris, 10 janvier 1898.

Les membres de la Commission,
GIRARDET, Lt-Colonel RENARD et POLLARD, Rapporteur.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1898.

PRÉSIDENCE DE MM. BECQUEREL ET R. BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 7 janvier est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. BASSAC, professeur au Lycée de Vendôme.
CHATEAU (C.), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, constructeur d'instruments de précision à Paris.
HARKER (John Allen), docteur ès sciences, membre du Owen College à Manchester (Angleterre).
LE CHATELIER (Charles), à Paris.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. *Canet* vient de faire à la Société un don de 300 francs. Des remerciements sont adressés à M. Canet.

M. LE PRÉSIDENT déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Vice-Secrétaire, et pour le renouvellement partiel du Conseil.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que le Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice 1896-1897 a été adressé à tous les membres de la Société, et demande s'il y a quelques observations à faire à ce Rapport. Aucune observation n'étant présentée, le Rapport de la Commission des Comptes est mis aux voix et adopté.

M. LE PRÉSIDENT proclame le résultat du vote. Sont élus :

Vice-Président : M. le COLONEL BASSOT.
Vice-Secrétaire : M. RAVEAU.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants :

MM. BRANLY, Professeur à l'Ecole libre des Hautes Études scientifiques et littéraires ;
CARVALLO, Examinateur d'admission à l'Ecole Polytechnique ;
SIEGLER, Ingénieur en chef de la voie à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est ;
VILLARD, Agrégé de l'Université, Docteur ès sciences.

Membres non résidants :

MM. GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux ;
HURMUZESCU, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie) ;

MM. Sentis, Professeur au Lycée de Grenoble;
Soret, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

M. Becquerel, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler.

Il invite M. René Benoit, Directeur du Bureau international des poids et mesures, à venir occuper ce fauteuil.

Recherches sur la haute atmosphère. — M. L. Cailletet rappelle que, dans sa mémorable ascension, Gay-Lussac avait déjà, en 1804, constaté les troubles que la dépression à 7000 mètres fait subir à l'organisme humain ; mais c'est seulement après la catastrophe du ballon *le Zénith*, qui coûta la vie à Croccé-Spinelli et à Sivel, que les aéronautes durent renoncer à dépasser la zone dangereuse, située vers 8000 mètres d'élévation.

Afin de pouvoir étudier les hautes régions de l'atmosphère, M. G. Hermite a fait connaître, dès 1892, à l'Académie des Sciences, les résultats de ses expériences, exécutées au moyen des ballons-sondes qui n'emportent avec eux que des appareils enregistreurs.

La mesure de la hauteur atteinte par le ballon est un des problèmes que les aéronautes ont à se poser.

Les résultats donnés par la formule de Laplace sont-ils encore applicables, lorsqu'on aura à mesurer des altitudes de 17 ou 18000 mètres.

Pour essayer de résoudre cette question, M. Cailletet a fait construire par M. Gaumont, l'habile directeur du Comptoir général de Photographie, un appareil photographique automatique qui, fixé à la partie inférieure du ballon, permet d'obtenir, de deux en deux minutes, les vues du sol au-dessus duquel passe le ballon, en même temps qu'il fixe l'image d'un baromètre anéroïde, placé à la partie supérieure de l'appareil.

Un mouvement d'horlogerie ouvre simultanément les obturateurs des deux objectifs et permet d'obtenir sur une membrane de celluloïd sensible des épreuves de 13 × 18, au moyen desquelles il est facile de calculer la hauteur atteinte par le ballon au moment de la prise de l'épreuve. En effet lorsqu'on connaît : 1° la distance des deux points situés sur le sol; 2° la distance de ces deux points sur l'épreuve; 3° le foyer de l'objectif, un simple calcul de proportion donne la hauteur du ballon.

L'appareil a été essayé récemment par les soins de la Commission française d'Aérostation, qui se servait d'un ballon de 1700 mètres cubes offert à la Commission par M. Balaschoff; de plus, le prince R. Bonaparte avait bien voulu se charger de toutes les dépenses de l'ascension. Le 21 octobre dernier, MM. Hermite et Besançon se sont élevés de l'usine à gaz de La Villette à midi 40 et sont descendus à 4 h. 20, dans le département de la Mayenne.

Le ballon *le Balaschoff* portait, indépendamment de deux actinomètres de M. Violle, l'appareil automatique qui a photographié vingt-six épreuves, toutes très nettes, donnant la vue du sol en même temps que l'image du baromètre.

Dans les prochaines ascensions M. Cailletet se servira d'un baromètre anéroïde dont l'aiguille peut faire deux tours entiers sur le cadran.

Ce baromètre donne des indications comprises entre $0^m,760$ et le vide ; or, le cadran étant divisé en 400 parties, on aura 800 divisions pour la mesure de toute la colonne barométrique. M. Cailletet compte pouvoir ainsi obtenir une vérification expérimentale de la formule de Laplace.

M. A. Leduc s'était proposé, il y a quelques années, de rechercher la composition de l'air à diverses altitudes et, grâce à l'obligeant concours de M. le colonel Renard, jusque dans la haute atmosphère.

Mais le constructeur auquel il s'était adressé n'ayant pu réaliser la partie mécanique de son appareil, il s'est contenté d'expériences faites à terre, sauf une prise d'air effectuée le 1er septembre 1894, en ballon monté, par les soins de M. Renard, à 1650 mètres d'altitude.

La proportion d'oxygène (en poids, abstraction faite de CO^2, H^2O, etc.) a été sensiblement la même que celle de Paris et des environs à la même époque : 0,232 (0,2318 à 0,2323).

Voici quelques indications sur la variation de l'oxygène dans les diverses expériences à l'air libre :

Dans le midi (Nîmes, Nice, Alger) en été, vent S.-O. : 0,2321 à 0,2324.

Près de la frontière belge, vent N.-E., en été, puis en hiver : 0,2317, puis 0,2309.

Plage près de Dieppe, légère brise du nord, en juillet, puis le 1er avril : 0,2316, puis 0,2307.

Dent de Crolles (Alpes : 2.060 mètres), le 7 octobre, avec vent violent descendant : 0,2305.

Dent de Crolles, le 8 octobre, avec vent léger ascendant : 0,2323.

M. Leduc insiste sur ce que, l'erreur des nombres ci-dessus ne dépassant pas 0,0001, l'influence de la saison, de l'altitude, du voisinage de la mer, et même de la latitude, sont suffisamment démontrées. Il en conclut, par exemple, que l'air moyen de Londres est moins riche en oxygène que celui de Paris. Et, en effet, les densités par rapport à l'air des gaz difficiles à liquéfier, récemment publiées par lord Rayleigh, sont nettement supérieures à celles trouvées par M. Leduc $\left(\text{l'écart est} > \frac{1}{10000}\right)$, tandis que les densités des mêmes gaz par rapport à l'oxygène concordent rigoureusement.

On en conclut que l'air moyen de Londres ne contient que 231 millièmes de son poids d'oxygène.

N. B. — M. B. Lewy (*Annales*, 1852) a trouvé pour la proportion en volumes de l'oxygène :

0,2102 à Paris et à Bogota, 0,2089 au Havre, et 0,2103 à travers l'Atlantique. Ce dernier résultat paraît surprenant.

M. Pellat demande si la richesse relative en oxygène de l'air de Paris ne peut être attribuée à l'abondance des bois dans les environs.

M. Leduc répond que l'air des bois dans le voisinage du sol est moins riche en oxygène que celui de Paris, et que, même vers la cime des arbres, par un très beau temps, avec une brise à peine sensible, la proportion de l'oxygène n'a pas dépassé 0,2325.

Encore n'a-t-il fait d'expériences que l'après-midi.

M. Villard fait connaître à la Société quelques propriétés des rayons qui produisent l'illumination hémisphérique des tubes focus au-dessus du plan de l'anticathode. M. Silvanus-P. Thomson a montré que ces rayons sont sensibles à un champ électrique ou magnétique. Il s'agit en effet de rayons cathodiques véritables, assimilables à des charges négatives en mouvement. Le mouvement est rectiligne, parce que le champ est sensiblement nul dans un tube de Crookes, sauf tout près de la cathode. Il semble permis de dire que les particules négatives du faisceau primaire, arrêtées par un obstacle, s'éparpillent en tous sens par répulsion réciproque, sauf celles qui ont pénétré dans l'obstacle. Les charges négatives se conservent, que l'obstacle soit isolé ou serve d'anode, ce qui d'ailleurs importe peu, puisque le champ est nul. L'éparpillement se produit aussi bien sur une anode en forme de cylindre de Faraday que sur un corps isolant.

Les rayons cathodiques qui émanent ainsi de l'anticathode possèdent les principales propriétés des rayons primaires. Un pinceau de ces rayons, pris dans une direction quelconque, et conduit dans un tube latéral, donne des rayons X s'il rencontre une lame de platine par exemple, reliée ou non à l'anode, et cette émission est facile à distinguer de celle des rayons X secondaires étudiés par M. Sagnac. De plus, l'éparpillement déjà observé avec le faisceau cathodique primitif se reproduit encore sur la seconde lame anticathodique.

Les phénomènes observés ne sont pas dus à des rayons cathodiques émis directement par l'anode anticathodique, à la suite d'oscillations dans la bobine excitatrice. Ces oscillations sont aussi faciles à éviter qu'à reconnaître : avec les tubes focus elles se produisent quand le tube est dur et donnent lieu à une émission régulière de rayons cathodiques normalement à toutes les faces de la lame anticathodique et non dans une direction quelconque. Le tube n'est plus illuminé uniquement au-dessus du plan de la lame, et on est averti que les conditions ne sont plus celles dans lesquelles il convient de se placer pour ne pas compliquer les phénomènes.

A propos des expériences de M. Villard, M. Broca appelle l'attention de la Société sur ce fait que l'anticathode est forcément le siège d'ondulations électriques, si le courant excitant est lui-même ondulatoire. Ceci se produit dès que le tube n'est plus très mou. La bobine est en effet le siège d'ondulations amorties, comme l'a montré Mouton, lorsque ses deux pôles sont isolés. Si on les réunit par un conducteur, une seule ondulation se produit, et si, au lieu du conducteur, on place un tube de Geissler, à raréfaction convenable, il remplira le même rôle qu'un conducteur; si la raré-

faction est plus poussée, il deviendra isolant, et des ondulations reprendront naissance. L'énergie à la cathode se transformera partiellement seulement en rayons cathodiques. Une ondulation se produisant, l'anode deviendra cathode à son tour.

Si l'anticathode est isolée, les ondulations ainsi produites se transmettront par induction, et le conducteur constitué par l'anticathode deviendra par moments négatif, et émettra des rayons cathodiques. Ces phénomènes sont rendus très évidents avec certaines formes de tubes; ils peuvent bien avoir un rôle dans la production des apparences indiquées par M. Villard.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 janvier est adopté.

Est élu membre de la Société:

M. DURAND (Ernest), préparateur à la Faculté des Sciences de Paris.

M. WYROUBOFF est nommé *membre de la Commission du Bulletin.*

Loi du mélange des gaz. — M. A. LEDUC rappelle d'abord l'énoncé habituel de la loi du mélange des gaz: *La pression d'un mélange de gaz est égale à la somme des pressions que prendrait chacun d'eux, s'il occupait seul le récipient à la même température.*

Cet énoncé ne saurait convenir qu'à des gaz parfaits, et il est alors équivalent à celui-ci: *Le volume occupé par un mélange de gaz est égal à la somme des volumes que prendrait chacun d'eux sous la même pression et à la même température.*

Cette dernière loi paraît s'appliquer rigoureusement à certains mélanges de *gaz réels;* elle est beaucoup plus approchée que la première en général.

1° *Azote et oxygène.* — Si, conformément à cet énoncé, on considère l'azote et l'oxygène de l'air comme subissant la pression totale, on doit leur attribuer dans l'équation des poids leurs densités normales, 1,1052 et 0,9720. Cela conduit en effet au même résultat que les analyses en poids de M. Leduc. Si, au contraire (1er énoncé), on leur attribue les densités 1,1045 et 0,9719 qui correspondent aux pressions partielles 60 centimètres et 16 centimètres, on arrive à une proportion d'oxygène inadmissible: 0,2333.

2° Az^2O *et* CO^2. — Ces deux gaz se ressemblent le plus possible au point de vue physique. Si l'on répète avec eux l'expérience de Berthollet, la diffusion de l'un dans l'autre ne doit donner lieu à aucune variation de pression. C'est en effet ce que montre une expérience fondée sur la connaissance préalable des densités et des compressibilités, aussi bien que l'expérience directe, répétée avec des soins particuliers par M. Sacerdote.

La loi classique ferait prévoir une augmentation de $2^{mm},3$ environ.

3° CO^2 *et* SO^2. — Ces deux gaz diffèrent par la masse moléculaire et surtout par les constantes critiques, ou par l'*état*. Leur mélange à volumes égaux sous la pression de 68 centimètres environ a donné lieu à une augmentation de pression de $1^{mm},25$. La loi classique ferait prévoir une augmentation quatre fois plus forte.

4° *Azote et argon*. — Si l'on calcule la densité de l'argon d'après celles de l'oxygène et de l'azote chimique, et la proportion de l'argon dans l'azote atmosphérique, on trouve (par rapport à l'hydrogène) 19,80 au lieu de 19,94 observé par lord Rayleigh et M. Ramsay. Cela s'explique en admettant que le mélange de 119 volumes d'argon avec 9.880 d'azote a lieu avec augmentation de $\frac{1}{10.000}$, en raison des différences physiques des deux gaz, et notamment de l'atomicité.

N. B. — Dans une communication récente à la Société Royale, lord Rayleigh a adopté pour la densité de l'argon le nombre calculé par M. Leduc. Il est clair qu'en pareille matière il faut s'en rapporter uniquement à l'expérience; il serait donc intéressant de savoir si lord Rayleigh a exécuté de nouvelles déterminations de cette densité (l'écart avec les précédentes serait de $\frac{1}{165}$).

Vibrations elliptiques dans les fluides. — On n'a constaté l'existence de vibrations elliptiques que pour des vibrations transversales.

M. Crémieu s'est proposé de vérifier si la composition de deux mouvements vibratoires longitudinaux pouvait donner lieu au même phénomène dans les conditions voulues.

En faisant interférer, dans la partie commune de deux tuyaux d'orgues, vibrant sous l'influence de deux diapasons, deux vibrations longitudinales, rectangulaires, présentant un retard de phase convenable, il a constaté qu'il se produit un mouvement vibratoire elliptique.

Son existence a été mise en évidence à l'aide de fils de quartz, de très faible diamètre, qui suivent tous les mouvements du fluide au sein duquel ils se trouvent suspendus.

Le phénomène est particulièrement intéressant, parce que ces vibrations elliptiques sont couchées sur la direction de propagation du mouvement vibratoire.

Le procédé d'observation est, en outre, d'une grande sensibilité; il a permis de mettre en évidence des particularités de la réflexion du son, et de constater certains phénomènes de diffraction du son dans des conditions où ils seraient susceptibles de mesures.

Sur un interrupteur de bobines d'induction. — M. Crémieu présente à la Société un interrupteur pour les bobines d'induction; il est basé sur le mouvement que prend un pôle d'aimant déterminé, quand on le place dans le champ d'une bobine excitée par du courant alternatif.

Cet interrupteur permet d'obtenir dans l'induit deux forces électromotrices de sens inverses, égales entre elles en valeur absolue.

D'autre part, l'appareil peut fonctionner en transformant un courant sinusoïdal en un nouveau courant qui serait représenté par une sinusoïde dont toutes les portions se trouveraient d'un même côté de l'axe des x.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1898.

Présidence de M. René Benoît.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 février est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. J. de Rey Paillade, Ingénieur civil des mines, à Toulouse.

M. le Président annonce en ces termes la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Albert Gauthier-Villars:*

« Messieurs, j'ai à remplir le triste devoir de signaler à la Société la perte qu'elle vient de faire dans la personne d'un de ses membres distingués, M. Albert Gauthier-Villars, qui a succombé, quelques heures après notre précédente réunion, à une longue et douloureuse maladie. Gauthier-Villars était sorti de l'Ecole polytechnique. Il fut d'abord ingénieur des télégraphes et prit part en cette qualité aux campagnes de Crimée et d'Italie. Plus tard, il abandonna cette carrière, entra dans l'industrie et devint acquéreur de la maison d'imprimerie et librairie Mallet-Bachelier. Je n'ai pas besoin de rappeler ici ce qu'il fit de cette maison, à quelle notoriété elle était arrivée entre ses mains, à quel degré de perfection il avait amené cette branche spéciale de l'art typographique, la typographie scientifique et mathématique; œuvre pour laquelle ses connaissances de savant et d'érudit lui donnaient une compétence particulière et exceptionnelle. Dans cet ordre d'idées on peut dire que Gauthier-Villars a été, pour les savants de son temps, un véritable collaborateur; il a rendu à la science française d'inestimables services pour lesquels notre reconnaissance lui est acquise. J'ajoute que Gauthier-Villars était au nombre des membres les plus anciens de la Société de physique, dont il fut membre fondateur. Il

était, en outre, son éditeur. Si, depuis quelque temps, des raisons d'économie ont amené votre Conseil à s'adresser, pour l'impression de notre *Bulletin*, à une maison de province, Gauthier-Villars était et devait rester l'éditeur de la Société de physique pour les grandes et importantes publications que celle-ci a entreprises et qu'elle poursuit. C'est lui qui a imprimé cette belle *Collection de Mémoires* dont les cinq premiers volumes ont paru, et qui sera continuée ultérieurement. C'est encore dans sa maison que s'imprime, en ce moment même, le *Recueil de constantes* dont la Société a décidé la mise au jour, dont la première partie, due à notre collègue M. Dufet, est complètement terminée et qui sera une œuvre propre à faire honneur à la fois à la Société de physique et à son éditeur. Je crois que la Société s'associera unanimement aux regrets que j'exprime ici de la mort prématurée de ce savant et distingué collègue, qui fut en même temps, comme le savent tous ceux qui l'ont connu de près, un parfait homme de bien dans toute la force du terme. »

Nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques, par M. E. Bouty. — Pour mesurer l'intensité d'un champ magnétique, M. Bouty a eu recours à l'induction réciproque de l'action électromagnétique employée par M. Lippmann dans son galvanomètre à mercure; mais il remplace le mercure par l'eau de rivière.

Supposons, pour simplifier, la vitesse d'écoulement uniforme sur toute la section d'une veine rectangulaire d'épaisseur e dans le sens des lignes de force du champ magnétique, de hauteur l dans la direction normale à la fois aux lignes de force et à la vitesse d'écoulement. La force électromotrice induite a pour valeur :

$$E = Hvl; \tag{1}$$

le débit est :

$$D = vel; \tag{2}$$

$$H = \frac{Ee}{D}. \tag{3}$$

Telle est la formule très simple que l'on aura à appliquer.

D'après la formule (1) la force électromotrice est indépendante de la nature du liquide conducteur. On a d'abord employé des solutions de sulfate de cuivre concentrées ou très étendues, s'écoulant par un ajutage ou cuvette rectangulaire en ébonite : deux électrodes de cuivre, de 1 centimètre de long et de largeur égale à l'épaisseur e de la cuvette, arasent exactement, à l'intérieur, la face supérieure et la face inférieure de la veine. On constate que la force électromotrice mesurée est parfaitement indépendante de la concentration, si bien que, sans rien changer à la disposition de l'expérience, on a pu substituer au sulfate de cuivre l'eau des conduites de la ville. La facilité des mesures demeure la même. La polarisation des électrodes n'introduit aucune perturbation.

L'usage de l'eau comme liquide conducteur permet d'employer de grandes vitesses d'écoulement et de donner à la méthode une sensibilité pour ainsi dire indéfinie. En employant des vitesses de 17 mètres par seconde, M. Bouty a pu manifester des champs constants de l'ordre de 0.5 C. G. S.

Les mesures relatives s'exécutent sans difficulté au moyen de cuvettes de forme quelconque : la seule précaution nécessaire est l'*isolement rigoureux des électrodes.*

Pour les mesures absolues il est bon de donner à la cuvette d'écoulement une épaisseur assez grande pour que la vitesse v puisse être considérée comme très sensiblement uniforme, et il faut introduire en facteur de correction, d'ailleurs très voisin de l'unité. — Pour des cuvettes de 1 à 6 millimètres d'épaisseur, il faut ajouter à l'épaisseur e mesurée une constante qui, dans les expériences de M. Bouty, est $0^{mm},13$.

Si on veut éviter l'usage de l'électromètre, en sacrifiant l'extrême sensibilité qu'il comporte, on pourra employer une grande capacité (plusieurs microfarads), la charger à l'aide de la force électromotrice à mesurer et la décharger sur un bon galvanomètre balistique.

M. Bouty a employé la nouvelle méthode à l'étude de la courbe de saturation d'électro-aimants, à la détermination de la quantité absolue de magnétisme des pôles d'un aimant permanent, à la graduation d'un ampèremètre, etc. Il se propose d'en faire diverses autres applications.

Sur la mesure des hautes températures par la méthode interférentielle, par M. Daniel Berthelot. — M. Daniel Berthelot a exposé antérieurement à la Société de Physique (séance du 17 mars 1895) une méthode nouvelle pour la mesure des températures. Cette méthode, fondée uniquement sur les propriétés des gaz, est indépendante de la nature, de la forme et des dimensions de l'enveloppe thermométrique. Elle permet de connaître la température d'une masse gazeuse, sans y placer aucun appareil, par le simple examen d'un rayon lumineux qui l'a traversée.

Un faisceau lumineux est séparé par un appareil interférentiel en deux parties, dont l'une traverse un tube froid où l'on peut faire le vide, et l'autre un tube qui l'a portée à la température qu'il s'agit d'évaluer. On ramène les franges au zéro en compensant les déplacements dus à l'élévation de température par ceux dus à la diminution de pression.

Pour avoir des résultats exacts, il est nécessaire que la colonne de gaz chauffée ait une température uniforme et que sa longueur soit exactement connue.

On obtient un champ calorifique uniforme en utilisant la partie centrale d'un tube en porcelaine ou en terre réfractaire long de 85 centimètres et chauffé électriquement par une spirale de platine que traverse un courant.

On évalue exactement la longueur de la colonne gazeuse sur laquelle porte la mesure en prenant l'écart des résultats de deux expériences successives ne différant que par la longueur de la région centrale à température constante. A cet effet, le rayon lumineux suit d'abord l'axe d'un tube

de laiton fixe entouré d'un système de tubes annulaires à circulation d'eau froide et qui s'engage dans le four électrique, pénètre ensuite dans celui-ci et en ressort par un second tube de laiton refroidi comme le premier, mais mobile suivant son axe au moyen d'une coulisse. Suivant qu'on tire ce tube mobile de 5, 6 ou 10 centimètres, on augmente d'autant la longueur de la partie centrale traversée par le rayon.

Pour déterminer les points de fusion des métaux, on place côte à côte dans la région centrale du four une pince thermo-électrique platine-platine iridié et un fil d'argent ou d'or qui ferme le circuit électrique formé par deux fils de platine et en amène la rupture en fondant. A cet instant, on note la force électromotrice du couple qui ne doit plus varier pendant les mesures. M. Berthelot a trouvé ainsi 962° pour le point de fusion de l'argent et 1064° pour celui de l'or.

Pour déterminer les points d'ébullition, on place une des soudures du couple dans la région centrale du four, et la seconde soudure, protégée par un tube de porcelaine, dans un four électrique spécial qui contient le métal en ébullition. Le point d'ébullition du zinc a été trouvé ainsi de 920°.

SÉANCE DU 4 MARS 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce la perte douloureuse que la Société vient de faire en la personne de M. *Maurat*, trésorier-archiviste honoraire de la Société, dont les obsèques auront lieu le jeudi 10 mars, à dix heures et demie du matin.

Ondes plus courtes que l'onde fondamentale dans les systèmes de Lecher et de Blondlot. — M. LAMOTTE s'est proposé d'étudier expérimentalement les ondes de période plus courte que la période fondamentale, qui se produisent dans les systèmes de Blondlot et de Lecher, et de comparer les résultats obtenus, au moins dans le cas du système de Lecher, à ceux qu'on déduit de la théorie de Kirchhoff.

L'existence de ces ondes a été signalée déjà par plusieurs expérimentateurs : Cohn et Heerwagen, Wiedemann et Ebert, Mazzotto et Drude.

La méthode employée par M. Lamotte est, en principe, celle de Mazzotto et de Drude. Le système de Lecher porte deux ponts, l'un fixe B_1, l'autre mobile B_2. On déplace ce dernier jusqu'à ce qu'un tube vide tenu sur les fils au milieu environ de B_1B_2 prenne un maximum d'éclat. La longueur d'onde est égale à la distance B_1B_2, augmentée de la 1/2 somme des longueurs des deux ponts. Le système de Lecher peut être considéré

comme formé de deux condensateurs réunis en cascade par l'étincelle: la capacité de l'ensemble est égale à la moitié de la capacité individuelle de chacun des condensateurs.

En appliquant à ce système la théorie de Kirchhoff, on trouve qu'il doit s'y produire des oscillations de période décroissante, dont la suite tend vers la suite harmonique impaire, quand la capacité devient de plus en plus petite par rapport à la self-induction.

C'est en effet ce que l'expérience vérifie. Dans l'excitateur de Blondlot, les ondes d'onde supérieure sont plus faciles à observer. Avec un petit appareil de 5 centimètres de diamètre ($\lambda = 75$ centimètres dans l'air), on peut observer jusqu'à 4 ondes successives.

Avec le grand appareil (60 centimètres de diamètre) sans capacité terminale, on trouve que le rapport de la longueur d'onde fondamentale à celle des autres croît quand on augmente la distance du premier pont à l'excitateur; l'intensité des ondes supérieures augmente en même temps, et il arrive un moment où l'intensité de la première est égale à celle de l'onde fondamentale. Avec la capacité terminale on trouve au contraire que le rapport diminue quand la distance du premier pont augmente.

Dans le petit appareil on constate que le rapport des longueurs de l'onde fondamentale à la première augmente dans les mêmes conditions jusqu'au voisinage de 2.

Sur les rayons cathodiques. — M. P. Villard fait connaître à la Société les résultats de ses recherches sur les tubes de Crookes. Il établit d'abord que la résistance de ces tubes, mesurée par l'étincelle équivalente, dépend uniquement de la section à l'origine du faisceau cathodique, section qui dans un tube donné se réduit progressivement quand le degré de vide s'élève. Cette réduction du diamètre du faisceau est manifestement due à l'action des parois du tubes, car, à une même pression, le faisceau émis est d'autant plus étroit que le tube est de plus faible diamètre, et si, dans un tube large, on met au-devant de la cathode un diaphragme percé d'un trou, on a sensiblement le même résultat qu'en réduisant le diamètre du tube. On sait d'ailleurs que la région d'émission se centre sur le tube, et par suite fuit les parois.

Cette action des parois est évidemment due à leur électrisation positive, reconnue par Crookes, et facile à constater : une électrode auxiliaire, même voisine de la cathode, est presque au même potentiel que l'anode, dès que le vide est un peu poussé.

Ainsi la région d'émission cathodique est repoussée par une charge positive; il est aisé de vérifier directement ce fait en approchant de la région précathodique une lame métallique reliée à l'anode, ou au moyen d'une électrode mobile intérieure. Une charge négative attire au contraire la région rayonnante.

D'autre part, si on place au-devant d'une cathode un diaphragme percé d'un trou même excentré sur le tube, les rayons cathodiques ne se forment qu'en face du trou, au moins pour un vide suffisant. Cependant les rayons,

une fois formés, peuvent être dirigés sur la lame elle-même, au moyen d'un aimant par exemple.

L'auteur explique tous ces phénomènes en admettant qu'un afflux de gaz, chargé positivement, part des diverses parties du tube et arrive à la cathode. Cet afflux cathodique, repoussé par les parois, se centre sur le tube.

L'expérience est particulièrement nette si on met au-devant de la cathode un diaphragme percé de deux trous. L'afflux est naturellement maximum sur les points de la cathode situés en face des trous, et il est bien visible. Au moyen d'une électrode auxiliaire, chargée par exemple positivement, on peut dévier l'un des afflux, laissant l'autre intact. M. Pellin projette quelques photographies représentant ces phénomènes.

Cet afflux, arrivant à la cathode, s'arrête, et il y a production de chaleur. Une cathode mince est portée facilement au rouge dans la partie frappée. Une cathode dont la partie centrale est en verre sera de même portée au rouge au point d'arrivée de l'afflux.

L'hypothèse précédente a conduit l'auteur à retrouver les rayons de Goldstein. Si la cathode est formée d'une toile métallique, l'espace situé derrière elle étant protégé électriquement, un faisceau de rayons prolonge alors, derrière la cathode, l'afflux positif. Ce faisceau dégage de la chaleur aux points où il frappe le verre, et illumine celui-ci en jaune (lumière du sodium). Vient-on à dévier l'afflux, ce faisceau est également dévié ; mais on ne peut dévier le faisceau lui-même, il a perdu sa charge en traversant la cathode. On est bien en présence des rayons de Goldstein.

L'auteur étudie ensuite la nature de la matière cathodique : tout le monde sait que le verre brunit quand il a été longtemps frappé par les rayons cathodiques; ce changement de teinte est dû à une réduction du silicate de plomb que contiennent presque tous les verres. Le cristal brunit beaucoup mieux que le verre. Un verre cuivrique vert devient rouge sous l'action des rayons cathodiques. De l'oxyde de cuivre est réduit. Les réductions de silicates réussissent encore dans un tube plein d'oxygène assez sec pour ne pas donner les raies de l'hydrogène.

L'afflux cathodique, reçu sur une lame de cristal, la réduit également; de même les rayons de Goldstein qui en sont le prolongement.

Joignant à ces résultats que les rayons cathodiques ont des propriétés invariables avec la nature des gaz introduits dans les tubes, l'auteur conclut que les rayons cathodiques sont uniquement formés par de l'hydrogène, provenant généralement de la vapeur d'eau qui reste dans les tubes.

Les rayons cathodiques diffusés par les anticathodes, et appelés à tort para-cathodiques, sont également capables de réduire le cristal; il semble donc permis de conclure que tout rayon cathodique, quelle que soit son origine, est toujours formé par de l'hydrogène.

L'auteur présente à la Société des échantillons de cristal ou de verre cuivrique réduits par les rayons cathodiques.

DISCOURS PRONONCÉS SUR LA TOMBE DE M. J. MAURAT

Discours de M. GIRARDET.

MESDAMES, MESSIEURS,

Avant que se ferme la tombe de M. Maurat, permettez à un ancien camarade d'école, à un ancien collègue, de rappeler, en quelques mots, ce que fut sa vie, toute de travail et d'honneur.

Jules Maurat est né à Tours, il y a presque soixante-dix ans. Tout jeune, désireux de diminuer les charges de ses parents, qui avaient quatre enfants, il concourut pour une bourse d'interne au Lycée de Tours. Il réussit et fit avec succès, dans ce Lycée, ses premières études. Plus tard, il vint à Paris pour suivre, au Collège Bourbon d'abord, puis à Saint-Louis, le cours de mathématiques spéciales.

Entré à l'École normale, en 1848, dans la section des Sciences, il y fut un élève laborieux, estimé et aimé de tous ses camarades.

A sa sortie, on le nomma successivement professeur de physique à Châteauroux et à Nantes. Reçu, en 1854, le premier à l'agrégation des Sciences, il resta à Nantes comme professeur titulaire. Il y fut bientôt chargé du cours de physique à l'École préparatoire à l'enseignement supérieur. De cette époque datent ses premiers succès comme professeur. Ses conférences étaient suivies par un auditoire sympathique, où l'on voyait figurer, à côté de véritables élèves, des gens du monde et des fonctionnaires.

Mais la santé de Maurat, qui avait toujours été un peu délicate, souffrait de l'activité qu'il était obligé de déployer et elle finit par être gravement atteinte. Il dut prendre un repos de quelques années. Les soins dévoués d'une tante et un long voyage en Italie, qu'il fit avec elle, le remirent sur pied. — En 1859, il fut nommé à Orléans et, en 1862, à Paris, au Lycée Saint-Louis, où il est resté jusqu'à sa retraite.

Il venait de se marier. Cette union ne fut malheureusement pas de longue durée et la mort prématurée de sa jeune femme, pour laquelle il avait l'affection la plus vive, l'affligea profondément. Il lui fallut le plus grand courage pour résister à un choc si terrible et ne pas se laisser abattre. Mais celle qui partait lui laissait un fils : l'amour paternel le rattacha à la vie. Il entoura cet enfant de toute sa sollicitude. L'enfant répondit à ses soins et lui donna les plus grandes satisfactions. Je l'ai connu parfait élève. Devenu homme, il s'est toujours souvenu et il garde à son père une infinie reconnaissance.

Quand vint la guerre de 70, Maurat, dès nos premiers échecs, entrevit la

possibilité du siège de Paris. Jugeant qu'il était de son devoir de contribuer à la défense de la capitale, il quitta Tours et vint s'enfermer dans Paris, laissant son jeune fils dans sa famille. — Il venait d'inventer la télégraphie optique. Aussitôt après l'investissement, il forma le projet de partir en ballon et d'aller établir un poste en pleines lignes prussiennes. Au risque d'être fusillé comme espion, il se serait mis en rapport avec les généraux de l'armée de la Loire et serait revenu transmettre à Paris, à l'aide de son appareil, les dépêches qui lui auraient été confiées. Ce projet hardi et généreux ne fut pas réalisé. Il fallut de longs pourparlers et de nombreuses expériences de démonstration avant que l'Administration de la guerre se décidât à tenter l'application de la nouvelle télégraphie et à envoyer, par ballon, une mission en province. On chargea Maurat et un de ses collègues du Collège Rollin, devenu son collaborateur, d'installer un poste d'observation au Mont-Valérien, pour recevoir les signaux de leurs correspondants, si les circonstances permettaient à ceux-ci d'approcher à une distance convenable. — Malgré le froid excessif de cette année, nos deux collègues passèrent, à tour de rôle, toutes les nuits de décembre et de janvier à inspecter tous les points de l'horizon, sans arriver à découvrir un poste cherchant à communiquer avec eux. A défaut du résultat tant désiré, ils s'attirèrent du moins, par leur louable persistance, les sympathies de tous les officiers du Mont-Valérien.

A l'époque de l'insurrection communaliste, Maurat, qui n'avait pas toujours été content, qui avait été indigné même quelquefois de ce qu'il voyait se passer, au point de vue de la défense et ensuite de la capitulation, ne se laissa pourtant pas entraîner par des suggestions plus ou moins directes qui lui vinrent de divers personnages avec lesquels le hasard des circonstances l'avait mis en rapport. Il refusa d'entrer dans la Commune, ne voulant à aucun prix participer à une guerre civile. Sa profonde honnêteté s'y opposait. C'est ainsi encore que, malgré ses idées républicaines, très libérales et démocratiques, et alors qu'il avait toujours sur le cœur le coup d'État de 51, il fit tout son possible pour faire comprendre au peintre Courbet, membre de la Commune, l'odieux du décret de destruction de la colonne Vendôme. Son patriotisme éclairé, quoique ardent, et ses sentiments d'équité ne lui permettaient pas d'admettre qu'on voulût abattre le souvenir de nos gloires passées, parce qu'il consacrait en même temps la mémoire d'un Napoléon, et qu'on choisît précisément, pour cela, le moment où nos armes venaient d'être malheureuses et où nous étions sous le regard de l'ennemi victorieux.

En 1872, Maurat reçut du Ministère de la Guerre la croix de la Légion d'honneur, tant pour son invention de la télégraphie optique que pour son dévouement pendant le siège.

Deux ans plus tard, il était chargé du cours de physique préparatoire à l'École polytechnique et à l'École normale supérieure. Il garda ces classes pendant ses quinze dernières années d'enseignement. Il mettait la plus grande conscience dans l'accomplissement de sa tâche, cherchant toujours

le mieux, perfectionnant ou remplaçant telle ou telle démonstration, au lieu de se répéter tout simplement d'année en année. Il avait une constante préoccupation de la réussite de ses élèves dans les examens qu'ils devaient subir. Aussi les longues heures qu'il consacrait à la préparation du cours et à la correction des devoirs ne lui laissèrent pas le temps de mener à bonne fin certaines recherches qu'il avait commencées.

Son activité se dépensait d'autres manières encore. Ainsi l'intérêt qu'il portait aux hautes questions de la physique, intérêt qui s'était déjà révélé à l'École normale, l'amena à être l'un des promoteurs de la fondation de la Société française de Physique ; il en fut toujours l'un des assistants les plus assidus et il en remplit, pendant plusieurs années, les fonctions désintéressées de trésorier.

Au lycée, les succès de ses élèves au concours général et aux examens d'entrée des grandes Écoles de l'État le récompensaient de son labeur continu. L'Administration lui a aussi témoigné sa satisfaction : lors de la première promotion des professeurs hors classe, qui fut faite en 1887, son nom parut sur la liste. Ce fut là le couronnement d'une carrière bien remplie. Il demanda sa retraite deux ans après.

Depuis son veuvage, Maurat avait habité avec sa tante, veuve aussi, qui tenait lieu de mère à son fils. Cette tante si dévouée étant morte à son tour après quelques années, il songea à se remarier, ce qu'il fit en 1880. Il eut de ce second mariage un fils et une fille. — Une fois en retraite, il se consacra à l'éducation de ses jeunes enfants. Dans l'intérêt de leur santé, il quitta Paris et retourna dans son pays natal où il s'établit à la campagne, tout près de Tours. — Comme il avait fait pour son fils aîné, il servit de guide à son second fils dans ses premières études. Il revit pour lui ses auteurs et se remit au grec et au latin. Ce travail lui était rendu plus facile par les souvenirs classiques que lui avaient laissés les solides études de sa jeunesse.

Malgré le calme, peut-être à cause du calme de cette nouvelle vie qui contrastait si fort avec la vie active qu'il venait de quitter, la santé de Maurat ne tarda pas à péricliter.

Sa digne femme l'a soigné pendant deux ans avec la plus grande et la plus tendre sollicitude et a certainement ainsi prolongé ses jours. Il s'est éteint dans les bras de sa famille le 25 février.

Quant à nous, Messieurs, ses anciens collègues, nous savons combien son commerce était facile et sûr, quelles étaient la franchise de ses paroles, l'aménité de son caractère. Au laboratoire du Lycée Saint-Louis, en particulier, où plusieurs d'entre nous l'ont connu pendant de nombreuses années, jamais le plus petit nuage n'est venu troubler la cordialité de nos rapports de tous les instants. — Puisse le souvenir de profonde estime et d'affection que nous gardons de notre excellent collègue contribuer à adoucir un peu, pour sa veuve et ses enfants, l'amertume d'être séparés de celui qui leur fut si cher.

Adieu, Maurat !...

Discours de M. René BENOIT,

PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

MESDAMES, MESSIEURS,

Je n'ai rien à ajouter à la biographie, que vous venez d'entendre, du regretté confrère que nous conduisons aujourd'hui à sa dernière demeure. Nul, mieux qu'un ami de jeunesse, un camarade d'école, un collègue dans l'enseignement, ne pouvait retracer cette physionomie, et rappeler cette vie simple et digne, consacrée tout entière à l'étude, au travail, au devoir. Il nous semble cependant qu'il manquerait quelque chose aux regrets et aux hommages qui entourent cette tombe, si la Société française de Physique ne venait, par l'organe de son Bureau, dire aussi que la mort de Maurat est un deuil pour elle, et payer à sa mémoire un juste tribut de reconnaissance pour les services qu'il lui a rendus. Ces services datent de l'origine même de notre Société. Lorsque, après la funeste période de 1870, d'Almeida, profondément attristé des désastres de la patrie, mais non découragé et rêvant de revanches pacifiques, désira faire quelque œuvre utile au bien général et contribuer pour sa part au relèvement des forces intellectuelles et morales de la France, il songea naturellement à donner une impulsion nouvelle à l'étude de la science qu'il aimait et dont il avait fait l'occupation de sa vie; il voulut en même temps créer entre tous ceux qui la cultivent dans notre pays les liens étroits qui n'existaient pas encore. De cette double préoccupation, inspirée par le plus pur et le plus noble patriotisme, devaient sortir, bientôt après et presque en même temps, deux œuvres pour lesquelles les physiciens français lui devront une éternelle reconnaissance : la création du *Journal de Physique* et la fondation de la *Société de Physique*. A ce moment, d'Almeida trouva, au nombre de ses adhérents de la première heure les plus convaincus et les plus ardents, M. Maurat, qui s'inscrivit des premiers parmi les collaborateurs du journal et parmi les membres fondateurs de la Société. Maurat fit ainsi partie de ce premier noyau, modeste par le nombre, grand par le savoir et le talent, origine de notre Société, qui devait s'accroître si rapidement, et atteindre en quelques années le développement que vous connaissez. A ce développement, Maurat devait aider encore par les services qu'il rendit plus tard à la Société en qualité de Trésorier-Archiviste. C'est au commencement de 1883, après la retraite de Niaudet, qu'il accepta de se charger de ces fonctions désintéressées, fonctions importantes dans toute société, toujours absorbantes, quelquefois ingrates, et qui exigent de la part de celui qui les assume un véritable dévouement aux intérêts sociaux. M. Maurat les a remplies jusqu'en 1891, avec un zèle qui ne s'est jamais démenti, et en même temps avec une bonne grâce qui lui faisait des amis de tous ceux que ces fonctions met-

taient en rapport avec lui. Lorsque l'âge et la fatigue lui firent souhaiter de déposer un fardeau qui, pendant huit années, avait absorbé une large part de son temps et de son activité, la Société de Physique dut s'incliner, quoique à regret, devant ce désir légitime, et elle lui témoigna sa reconnaissance, en lui donnant, par acclamation, le titre de trésorier honoraire.

A cette époque, Maurat avait déjà pris sa retraite comme professeur de l'Université. Depuis lors il se retira à la campagne, et nous eûmes le regret de ne plus voir que par intermittences, à nos séances, celui qui y avait été si longtemps parmi les plus assidus. Il ne se désintéressait pourtant pas de la Société. Bien qu'il fût fixé assez loin de Paris, nous avions conservé l'habitude de le convoquer aux réunions de notre Conseil ; mais il s'y était fait de plus en plus rare, et, lors de notre dernière séance, il y a quelques semaines à peine, il répondit que l'état de sa santé lui ôtait désormais l'espoir de venir jamais reprendre sa place au milieu de nous. L'événement a justifié trop vite les tristes pressentiments que ce message avait fait naître : ce devait être son dernier adieu. Et maintenant que nous ne pouvons plus adresser, de notre côté, notre dernier adieu qu'à la dépouille mortelle de notre collègue et ami, nous voudrions au moins que sa famille, durement frappée dans son chef, et que nous entourons d'une respectueuse sympathie, trouvât quelque adoucissement à la douleur qui l'étreint au moment de la définitive séparation, dans ces témoignages unanimes d'estime, de reconnaissance et d'affection, donnés à la mémoire de celui qu'elle pleure par les membres de la grande famille scientifique à laquelle il appartenait.

SÉANCE DU 18 MARS 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

Est élu membre de la Société :

M. COSTA, professeur de physique médicale à la Faculté de Médecine de Buenos-Ayres.

M. LE PRÉSIDENT annonce à la Société les pertes regrettables qu'elle vient de faire dans les personnes de MM. *Coupier*, Ingénieur des poudres et salpêtres, directeur de la raffinerie de Saint-Denis à Marseille, et *Maumené*, Professeur de chimie à la chaire municipale de Reims et à la Faculté catholique de Lyon.

Sur la transformation des rayons X par diffusion; par M.-G. SAGNAC. — La surface Σ par laquelle les rayons X pénètrent dans une matière quelconque

émet en tous sens des rayons analogues aux rayons X incidents, mais bien moins pénétrants qu'eux : ce sont les *rayons secondaires* S dont M. G. Sagnac a présenté déjà les principales propriétés, dans la séance du 7 janvier. Si les rayons X peuvent émerger du corps employé, la surface Σ par laquelle ils en sortent émet aussi des rayons secondaires S', qui ne diffèrent guère des rayons S que par leur plus faible intensité. L'émission des rayons secondaires S ou S' a pour siège une couche de matière attenant à la surface Σ ou à la surface Σ'. L'épaisseur *e* de cette *couche active* varie considérablement avec la nature du corps employé : réduite à un demi-millième de millimètre dans le cas de l'or, elle s'élève à plus d'un millimètre dans le cas de l'aluminium. Enfin, pour des corps aussi transparents que la paraffine, l'eau, l'air atmosphérique, l'émission secondaire a lieu dans toute la masse du corps avec les épaisseurs pratiquement employées. Par la méthode de l'électroscope, M. G. Sagnac a pu reconnaître qu'un volume limité d'air (1 décimètre cube par exemple), traversé par les rayons X, rayonne en tous sens, même à angle droit des rayons X incidents, des rayons secondaires un peu moins pénétrants que les rayons X excitateurs.

L'action *apparente* des rayons X sur un récepteur quelconque (électroscope, plaque photographique, écran fluorescent) est *diminuée*, quand on interpose un obstacle sur le trajet des rayons X, à cause de l'absorption des rayons X par l'obstacle; mais elle est *augmentée* par l'action des rayons S que l'obstacle *dissémine* en tous sens. La seconde action (*effet secondaire*) peut même l'emporter sur la première ; l'absorption *apparente* est alors *négative*.

L'effet secondaire diminue progressivement quand l'obstacle s'éloigne du récepteur ; *la transparence apparente d'un corps pour les rayons X dépend ainsi de sa distance au récepteur*. Quand l'obstacle est formé d'un système de deux ou plusieurs écrans superposés, l'effet secondaire change considérablement avec l'ordre des écrans, ce qui différencie nettement les phénomènes d'émission secondaire des phénomènes de diffusion de la lumière. Il en résulte que *la transparence apparente d'un système d'écrans dépend de l'ordre des écrans* aussi bien que de la distance du système au récepteur. La seconde influence tient aussi bien à l'éparpillement des rayons secondaires qu'à leur absorption par l'air. On élimine l'effet secondaire en plaçant le récepteur assez loin de l'écran dont on étudie la transparence. C'est dans ces conditions qu'on peut espérer trouver des lois précises pour l'absorption des rayons X par les différents corps.

L'électroscope et la plaque photographique distinguent mieux que le platinocyanure de baryum les différents rayons secondaires, inégalement pénétrants, qu'émettent les différents corps, et montrent beaucoup mieux que le platinocyanure de baryum l'influence de la distance et de l'ordre des écrans sur leur transparence apparente aux rayons X. Cela tient à ce que le platinocyanure utilise une fraction de l'énergie incidente plus importante que celle qui est utilisée par les deux autres récepteurs. Il

paraît intermédiaire entre ces deux récepteurs et le *bolomètre à rayons X* que l'on peut réaliser en mettant à profit l'échauffement des métaux sous l'action des rayons X, récemment étudié par M. Dorn. Un tel bolomètre mesurera assez exactement l'énergie du rayonnement incident et montrera sans doute que l'énergie des rayons S est assez faible vis-à-vis de celle des rayons X qui les excitent.

Le faible pouvoir de pénétration des rayons S, leur mode d'action sur les différents récepteurs montrent qu'une lame de matière M, exposée aux rayons X d'une lame focus *l* se comporte à la manière de la lame focus *l'* d'un tube à vide plus *doux* que le premier. Peut-être parviendra-t-on à trouver des rayons X aussi peu pénétrants que les rayons secondaires de l'or ou du plomb, par exemple, en faisant sortir les rayons X d'un tube focus à travers une paroi très mince et très transparente.

Quelques propriétés des décharges électriques dans le champ magnétique; par M. A. Broca. — Le phénomène découvert il y a environ un an par M. Zeeman nous montre que les molécules qui vibrent dans une flamme donnent lieu, dans un champ magnétique, à deux espèces de vibrations. Les unes vibrent dans le sens du champ magnétique, les autres vibrent circulairement autour de celui-ci. Si on introduit dans les équations du mouvement l'hypothèse que les molécules sont chargées, c'est-à-dire sont des ions, on voit qu'il doit en être ainsi. C'est la théorie émise par Lorentz. Cette théorie est appuyée par ce fait démontré, il y a un an par M. Villari que les gaz de la flamme perdent la propriété de décharger les corps électrisés quand ils passent dans un ozoniseur.

Il était naturel de penser que des phénomènes analogues devaient se passer dans les tubes à vide, si on admet que ces phénomènes sont dus à des molécules chargées, comme le veut l'école anglaise. M. Birkeland avait démontré, il y a deux ans, que, dans un champ magnétique, les rayons cathodiques suivaient le champ quand il était assez puissant Or nous savons que les rayons cathodiques s'enroulent autour d'un champ magnétique. Il y avait donc lieu de chercher ce qu'étaient au juste ces rayons de M. Birkeland. J'ai vu que ces rayons existent bien réellement et indépendamment de ceux qui s'enroulent autour du champ. Ce ne sont pas les limites de ceux-ci. Il y a donc deux espèces de rayons cathodiques : les uns qui s'enroulent autour d'un champ intense, les autres qui le suivent. J'appelle les premiers : rayons de première espèce, et les seconds : rayons de seconde espèce. J'ai démontré l'existence de ces deux espèces de rayons simultanés au moyen d'une ampoule sphérique ayant une cathode sphérique centrale en aluminium, et un écran diamétral en verre. Je dois cette ampoule, ainsi que toutes les autres, à l'habileté et au dévouement de M. Chabaud. On voit ainsi que, pour une certaine valeur du champ, on a simultanément une ligne brillante étroite dans le sens du champ, et deux illuminations en chapeau de gendarme sur l'écran diamétral. Fait

curieux : l'une est jaune, l'autre est verte. Elles sont dues à des flux cathodiques qui tournent autour du champ dans le sens du courant excitateur.

A des pressions beaucoup plus élevées dans des ampoules sphériques de Geissler, munies de deux électrodes sphériques, des phénomènes analogues se passent encore, si l'énergie mise en jeu est suffisante. La lueur cathodique s'allonge en un mince cylindre parallèle aux lignes de force, et une lame lumineuse perpendiculaire au champ s'échappe de l'anode. Dans des conditions convenables, le cylindre lumineux produit, aux deux points où il rencontre la paroi, la fluorescence verte.

Dans l'air libre, avec un arc dû à une puissante bobine, on voit la flamme de l'arc se contourner en héliçoïde, et, dans certaines conditions, on voit cet héliçoïde prendre une forme très spéciale, formée de deux parties minces et assez longues, voisines des électrodes, réunies par une large surface normale au champ.

Les phénomènes sont ici moins nets que dans les tubes évacués, à cause des réactions beaucoup plus grandes du milieu, mais ils existent cependant.

Nous voyons donc qu'il se produit pour toutes les décharges électriques dus à des gaz ou vapeurs des phénomènes de dédoublement de la décharge dans le champ magnétique en deux parties, l'une parallèle, l'autre normale aux lignes de force. C'est là un phénomène tout à fait analogue à celui que M. Zeemann a produit dans la flamme. Dans les tubes évacués, le mouvement des molécules produit des phénomènes de dimensions finies, à cause de l'absence de réactions élastiques du milieu. Avec l'arc électrique les apparences analogues sont dues à la grande énergie dépensée dans le phénomène.

En somme, nous conclurons à l'assimilation complète d'un tube à rayons cathodiques parcouru par la décharge avec une source lumineuse, la seule différence résidant dans l'absence de réactions élastiques.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. HAGENBACH (Auguste), Docteur en philosophie, Privat-docent à l'Université de Bonn (Allemagne).

MALLAT (R. Père), Professeur à Saint-Joseph, collège à Trichinopoly (Indes Anglaises).

MM. Revoy, Professeur au Lycée de Pontivy.
Roumaliac (Dr), Préparateur à la Faculté de Médecine de Bordeaux.
Trouchot (Dr), Professeur à l'École de Médecine de Clermont-Ferrand.

Sur l'influence du temps sur les déformations permanentes des métaux, par M. G. Charpy. — On sait que la déformation produite par une force donnée sur un fragment de métal dépend du temps pendant lequel agit cette force. Ce phénomène est plus ou moins marqué suivant la nature du métal : très sensible avec le plomb, il devient presque inappréciable avec le cuivre rouge, dans les conditions ordinaires d'essai. M. Charpy étudie ce dernier cas qui est particulièrement intéressant, parce que l'on utilise l'écrasement de cylindres de cuivre (*crushers*) pour mesurer les pressions explosives soit dans des espaces clos, soit dans les bouches à feu, et que l'on écrase alors ces crushers dans des temps infiniment plus courts que ceux qui se rencontrent dans les expériences de tarage. Des expériences effectuées au moyen d'un appareil permettant de faire varier la durée d'écrasement depuis plusieurs minutes jusqu'à $\frac{1}{10}$ de seconde, il résulte que l'écrasement produit par une charge donnée est d'autant plus faible que la durée d'action de la charge est plus courte, tant que l'on n'atteint pas les durées pour lesquelles se présente le phénomène que MM. Sarrau et Vieille ont appelé *fonctionnement dynamique*. L'étude de l'écrasement produit par une charge constante agissant sans vitesse initiale permet de retrouver également cette influence du temps.

Il résulterait de là que les pressions explosives, évaluées au moyen des cylindres crushers avec les tables de tarage usitées actuellement sont trop faibles et doivent être multipliées par un coefficient dont on ne connaît encore que l'ordre de grandeur et qui doit être compris entre 1,1 et 1,2.

M. Lamotte expose la théorie proposée récemment par M. *Bunte* pour expliquer le *fonctionnement du manchon Auer*.

Tous les manchons actuellement en usage présentent à peu près la même composition, soit 98 à 99 0/0 d'oxyde de thorium et à 2 0/0 d'oxyde de cérium et des traces d'autres matières qui ne jouent qu'un rôle tout à fait secondaire. Le pouvoir éclairant des manchons n'est pas dû à un pouvoir émissif spécial, comme M. Bunte s'en est assuré en observant directement l'émission des oxydes de thorium et de cérium et de la magnésie, du charbon de cornues, chauffés dans un four électrique à une température de 2000° environ. Le pouvoir éclairant résulte seulement de la haute température à laquelle le manchon se trouve porté et qui est due, d'une part, aux propriétés catalytiques de l'oxyde de cérium, d'autre part à l'extrême division de celui-ci.

La présence de l'oxyde de cérium abaisse en effet la température d'inflammation du mélange d'oxygène et d'hydrogène de 650° à 350°, la combustion est donc fortement activée dans le voisinage du manchon et une grande quantité de chaleur est dégagée. L'oxyde de thorium forme une

masse boursouflée, constituée par un grand nombre de filaments très fins, sur lesquels se trouve disséminé l'oxyde de cérium. Grâce à la mauvaise conductibilité de ces filaments fins, la chaleur, au lieu de se dissiper rapidement dans la masse, se concentre, et le manchon est porté à une température très élevée.

Il est certain que les deux éléments concourent au phénomène, car les manchons en oxyde de thorium pur ou en oxyde de cérium pur donnent dix à vingt fois moins de lumière que les manchons constitués par le mélange ci-dessus.

M. Broca demande si la théorie de M. Bunte fournit une explication de la surabondance des rayons verts, qu'on constate dans le spectre du bec Auer. M. Lamotte répond que cette explication n'est pas donnée dans la théorie, mais qu'il n'y a pas lieu de tirer de là une objection, car on n'a jamais expliqué non plus pourquoi, dans le spectre solaire, il y a surabondance de rayons jaunes.

M. H. Le Chatelier fait remarquer que cependant le spectre du bec Auer constitue une exception, car en général la proportion des diverses radiations dans le spectre d'un corps solide incandescent est fonction seulement de la température.

SÉANCE ANNUELLE

RÉUNIONS DES VENDREDI 15 ET SAMEDI 16 AVRIL 1898

à 8 heures et demie très précises du soir.

Éclairage du vestibule, du grand escalier, de la salle d'entrée et de la grande salle par les lampes à courants alternatifs de..... **M. L. Bardon.**

Éclairage de l'entrée du grand escalier avec les appareils à acétylène de..... **MM. Létang** et **Serpollet.**

Éclairage de la salle du Conseil par..... **MM. Cance** et fils.

Voltmètres *thermiques* à sensibilité variable ; ampèremètres *thermiques* à shunts interchangeables pour la mesure des courants alternatifs de toute fréquence. — Enregistreurs à plume-molette, voltmètres, ampèremètres, wattmètres. — Ohmmètres portatifs. —

Caisses portatives de contrôle avec voltmètre et ampèremètre apériodiques à shunts interchangeables; grand modèle de 600000 watts de capacité ; petit modèle de 36000 watts de capacité. — Galvanomètres portatifs à cadre mobile et miroir pour laboratoires ; modèle à cadre en maillechort pour couple thermo-électrique **Le Chatelier**..... **MM. Arnoux et Chauvin.**

Lampes à arc pour courants continus. — Lampes à arc pour courants alternatifs..... **M. L. Bardon.**

Trompe soufflante, aspirante. — Régulateur à pression pour distiller dans le vide. — Appareil pour recueillir les produits de la distillation dans le vide..... **M. G. Berlemont**

Étalon secondaire de lumière à flamme, construit par **M. Pellin.** — Hystérésimètre **Blondel-Carpentier.** — Nouveau dispositif d'oscillateur Righi..... **M. A. Blondel.**

Machines statiques pour la radiographie (modèles perfectionnés). — Dispositif radiographique du Dr **Destot.** **M. Bonetti.**

Échelle décimale pour la mesure des acuités physiologiques $V > 1$..... **M. H. Bordier.**

Nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques..... **M. Bouty.**

Quelques propriétés des décharges électriques dans le champ magnétique..... **M. A. Broca.**

Appareils pour les recherches sur la haute atmosphère: Enregistreur automatique pour ballons, construit par **M. L. Gaumont.** — Appareil automatique pour la prise d'air à haute altitude, construit par **M. Golaz**.. **M. Cailletet.**

Ampèremètre thermique à mercure. — Voltmètre thermique calorifique destiné aux courants alternatifs.. **M. C. Camichel.**

Rhéographe **Abraham-Carpentier**, disposé pour l'examen direct, sur une glace dépolie, et l'enregistrement photographique. — Tachéographe **Schrader**, destiné au tracé direct des Cartes topographiques. — Sphéromètre viseur, destiné à la mesure des rayons de courbure des verres d'optique. — Appareil du professeur **Bose**, pour les expériences de réflexion, réfraction, des ondes hertziennes. — Bobine Ruhmkorff, grand modèle, donnant 50cm d'étincelle avec 8 volts. — Interrupteur Foucault, modifié, avec cou-

pure double du courant inducteur, disposé pour fonctionner sur les courants d'éclairage. — Trembleur extra-rapide, à contacts de platine. — Bobine d'induction, en caisse, pour applications diverses : radiographie, inflammation, ozonisation, haute fréquence. — Wattmètre industriel, à lecture directe.. **M. J. Carpentier.**

Lampes à acétylène de **M. V. Chabaud.** — Trompe à mercure sans robinet, étudiée par **M. V. Chabaud,** pour la construction des tubes à analyse spectrale. — Pompe-trombe à mercure de **M. V. Chabaud** (la pompe est sans robinet), les deux chutes sont étudiées par **M. Villard.** — Tubes de Crookes, modèles divers. — Tube de **M. Villard** à résistance variable. — Tube de **M. Villard** montrant le mécanisme de la formation des rayons cathodiques. — Tube de **M. Villard** montrant l'action réductrice des rayons cathodiques. — Thermomètre à réservoir d'argent de **M. Cailletet** (graduation de + 30° à — 100°). — Interrupteurs à mercure. — Appareils de **M. Hamy** pour obtenir les franges de Michelson à grande différence de marche. — Photographies radioscopiques. **M. V. Chabaud.**

Photographies de la texture microscopique des alliages métalliques..... **M. Charpy.**

Anémoscope du R. P. **de Grandmaison.** — Anémomètre à main. — Boîte gyroscopique de **M. Gruey** (stréphoscope). — Compteur de tours grand modèle à la fois alternatif et rotatif, et tournant dans les deux sens. — Petit compteur de tours de poche à remise au zéro. — Compteur compte-seconde donnant la vitesse moyenne d'un axe pendant un temps quelconque. — Compte-seconde de poche. — Chronographe-tachymètre pour mesurer la vitesse des trains. — Compteur kilométrique pour voitures, automobiles, bicyclettes. — Tachymètre du type de la Marine.... **MM. Chateau** père et fils.

Appareil microphotographique. — Microtome *Minot* perfectionné pour coupes à la paraffine et à la celloïdine..... **M. Gogit** et **Cie.**

Petite balance automatique destinée à séparer les pièces d'or légères de celles qui sont bonnes..... **M. A. Collot.**

Commutateurs-interrupteurs, coupe-circuits pour ten-

sion, de 110 à 3000 volts et plus. — Disjoncteurs à maxima et disjoncteurs à minima..... **Cie Fse d'appareillage électrique,** *anciens établissements* **Grivolas, Sage** et **Grillet.**

Appareil pour la recherche de projectiles dans le crâne. — Interrupteur à mercure..... **M. Contremoulins**

Lampe portative à acétylène..... **M. Ed. Corne.**

Nouvel interrupteur pour les bobines d'induction..... **M. V. Crémieu.**

Essai d'oiseau à vapeur construit par **M. Clarenc** fils... **M. Delaurier.**

Appareil portatif de **M. Gossart,** alimentant un brûleur à acétylène système **Démichel,** pour appareil à projection. — Brûleur à acétylène système **Viard-Démichel,** sur lampe à acétylène de **M. Gossart.** — Balance de précision à chaîne, système **Serrin.** — Colorimètre **Pellet-Démichel** pour liqueurs très faiblement colorées. — Éthéomètre de **M. Couture,** servant à apprécier le trouble des liquides. — Viscosimètre de **MM. de Grobert** et **Démichel,** basé sur la loi de Poiseuille (écoulement des liquides par les tubes capillaires). — Appareil de **M. Léo Vignon** pour l'analyse des gaz renfermant des hydrocarbures..... **M. A. Démichel.**

Types d'accumulateurs **Dinin** employés pour l'inflammation des moteurs de voitures automobiles et la production des rayons X..... **M. A. Dinin.**

Appareil de démonstration pour la correction des compas de **M.** le commandant **Guyou.** — Compas d'épaisseur donnant le 1/1000 de millimètre. — Comparateur ou banc à étalonner donnant le 1/1000 de millimètre. — Série de petits moteurs électriques à courant continu..... **M. L. Doignon.**

Matériel complet de **E. Ducretet** (transmetteur et récepteur) pour la télégraphie sans fils ; tubes radioconducteurs de **M. Branly,** modèles de **E. Ducretet ;** expériences diverses. — Appareil de **M.** le professeur **Bose** pour les expériences classiques « des ondes magnétiques de Hertz ». — Série de grandes bobines de Ruhmkorff (du type de **E. Ducretet,** en

boîte) pour les expériences de cours, la télégraphie hertzienne, la radiographie et la haute fréquence. Ces bobines fonctionnent avec l'*interrupteur à mercure* indépendant, de **E. Ducretet**; il assure la bonne marche continue. — Matériel radiographique, en boîte (nécessaire portatif), avec *entoscope*, pour le service des douanes et les services médicaux volants. — Machine électrostatique de Wimshurst, à grand débit, à 12 plateaux, pour les expériences de cours, les applications médicales et la production des rayons X de Röntgen. — Machine dynamo-électrique, modèle du Ministère de l'Instruction publique, pour les expériences de cours; elle fonctionne à bras d'homme. Voltamètre à gaz tonnant, suivant les procédés de M. le Lt-colonel **Ch. Renard**. — Photothéodolite du colonel **Laussedat**, modèle très portatif... **M. E. Ducretet.**

Tubes remplis d'oxygène, en acier, sans soudure, de 500, 1000, 2500 et 5000 litres. — Différents accessoires tels que burette d'essai, robinet-détendeur, manomètre, carburateurs à acétone; de la **Société française d'oxygène chimiquement pur**..... **MM. Dutremblay et Lugan.**

Régulateurs de débits pour les gaz liquéfiés ou comprimés..... **M. Fournier.**

Bobine d'induction donnant 35cm d'étincelle. — Interrupteur à mercure de M. **Contremoulins**. — Appareil à haute fréquence utilisant le courant alternatif des secteurs, dispositif du Dr **d'Arsonval**. — Appareils de mesure. — Moteurs électriques de 6 à 10 kilogrammètres..... **MM. Gaiffe et Cie.**

Chronophotographe **Demeny** employant des bandes de 35mm; poste complet pour projections..... **M. L. Gaumont.**

Nouveaux modèles de lampes à acétylène, à autorégulation par tubes capillaires, pour applications scientifiques diverses..... **M. E. Gossart.**

Nouveaux électro-aimants de M. **Bourhet**..... **MM. Guénée et Cie.**

Expériences sur les aciers au nickel..... **M. Guillaume (Ch.-Ed.).**

Nouvelles armes automatiques..... **M. A. Guinard.**

Photographies relatives à divers phénomènes électriques. **M. P. de Heen.**

Radiographies relatives à la nature du métal dans l'absorption et l'émission des rayons X..... **M. Hurmuzescu.**

Appareil interférentiel de M. **Mesnager** pour l'étude locale des flexions des ouvrages métalliques : ponts, etc.; — Prisme polarisant de M. **Joubin**. — Spectroscope interférentiel de MM. **Perrot** et **Fabry**, modèle de démonstration disposé pour montrer séparées les deux composantes principales de la raie verte du thallium (intervalle environ 1/10 de l'intervalle D, D_2 du sodium). — Spectroscope à vision directe de **Thollon** : collimateur récepteur avec fente à double volet destinée à isoler une radiation dans le spectre..... M. **A. Jobin**.

Appareil de M. **Drude** pour l'étude de l'absorption des ondes électriques..... M. **Lamotte**.

Radiographie d'Anatomie normale et pathologique, réalisées avec le matériel de M. **E. Ducretet**..... M. **Lenoir**.

Interrupteur rotatif à contact gras pour appareils d'induction à l'usage des rayons X (système **A. Londe** et **A. Leroy**). — Epreuves radiographiques obtenues par M. **Londe** au Laboratoire de la Salpêtrière. — Gazogène à acétylène pour éclairage mobile (système **Bazin** et **Leroy**). — Le stéréocycle de **Bazin** et **Leroy**. — Jumelle stéréoscopique perfectionnée, entièrement métallique..... M. **L. Leroy**.

Carbure glucosé. — Appareils et becs pour l'acétylène. MM. **Létang** et **Serpollet**.

Aérateur pour l'eau. — Anémotrope..... M. **Maillet**.

Étude des voyelles par la Photographie des flammes manométriques..... M. **Marage**.

Appareils pour l'étude calorimétrique complète des liquides saturés (étuve et récipients à pointeau).... M. **E. Mathias**.

Projections diverses de clichés photographiques..... M. **Molteni**.

Lames étalons pour la mesure de petits intervalles d'air en valeur absolue. — Lampe à arc au mercure de MM. **Perot** et **Fabry**. — Hématospectroscopes divers modèles et hématospectroscope à analyseur chromatique, de M. le Dr **A. Hénocque**. — Photopolarimètre de M. **Cornu**. — Héliographe à boule à latitude variable. — Dilatomètre et pyromètre optique de M. **Le Chatelier**. Lunette de MM. **Le Chatelier** et **Coupeau** pour la mesure des dilatations à hautes températures par le déplacement d'une image réfléchie par un miroir. — Stéréos-

cope à grand champ pour images radioscopiques, de **M. Cazes.** — Photomètre de **MM. Blondel** et **A. Broca.** — Actinomètre enregistreur de **M. Crova.** — Réfractomètre à cuve chauffable de **M. Ch. Féry.** — Réseaux de M. le Prof. **Rowland.** — Prisme à angle variable grand modèle. — Prisme à vision directe grand modèle. — Appareil de polarisation industrielle pour verreries. — Prismes et plaques en verre de didyme. — Kaléidoscope de projection. — Projections et expériences diverses..... **M. Pellin**
(Successeur de M. J. Duboscq).

Matériel spécial pour rayons X, comprenant : Une grande bobine d'induction en bain de paraffine. — Nouvel interrupteur à vitesse facultative sans platine ni mercure, fixité absolue de l'image. — Réducteur de potentiel pour courant de 110 volts. — Table-châssis pour radioscopie et radiographie servant à la recherche des projectiles ou autres corps étrangers dans l'organisme. — Compas de M. le Dr **Mergier** applicable à la Table ci-dessus. — Radioconducteur **Radiguet** et **Guichard.** — Posomètres, xoscope, xomètre Buguet. — Appareil de self-induction pour la haute fréquence de **MM.** le Dr **Oudin** et **Radiguet.** — Ozoneur de **M.** le Dr **Oudin.** — Appareils de démonstration pour l'essai des aciers magnétiques de **M. Ch.-Ed. Guillaume**..... **M. Radiguet.**

Baromètre enregisteur à poids. — Baromètre enregistreur avec transmetteur à distance auto-moteur. Ce baromètre enregistre sur place les variations de la pression atmosphérique et actionne électriquement, à distance, une aiguille de $0^m,40$ qui se déplace devant un cadran placé au sommet d'un édifice. Il a été établi à la demande de la ville de Bruxelles. — Baro-thermo-hygro-anémomètre enregistreur en aluminium. Baro double thermomètre enregistreur construit sur les indications de **M. Teisserenc de Bort,** Directeur de l'observatoire de Météorologie dynamique de Trappes pour l'étude des variations brusques de température suivant la verticale. — Enregistreur automoteur adapté à une balance ; appareil construit pour **M.** le Dr **G. Weiss.** — Régulateur de température automoteur pour distillerie, sucrerie, etc. — Régulateur automatique de tension ou d'intensité pour machine dynamo. —

Appareil pour la mesure de la vitesse des obturateurs photographiques, établi sur les indications de **M. Peignot**, Chef de laboratoire au Conservatoire des Arts et Métiers. — Perfectionnements apportés aux appareils de Photographie stéréoscopique; le Vérascope et les Homéoscopes. — Magasins pelliculaires.	**M. Jules Richard.**
Transformateur **Wydts-Rochefort**.....	**M. O. Rochefort.**
Appareils pour l'inscription des mouvements vibratoires de la parole : 1° Ampoules et capsules exploratrices des vibrations organiques. — Tambours inscripteurs modifiés. — Tambour à double membrane de **M. Zünd-Buguet**, attaché au Laboratoire de Phonétique. — 2° Inscripteurs de la parole.....	M. l'abbé **Rousselot.**
Expériences sur la transformation des rayons X par diffusion.....	**M. G. Sagnac.**
Transformateur : puissance 2500 watts de courant alternatif de 110 volts en courant continu de 18 ampères, 140 volts pour 40 périodes 1200 tours.....	**Société de l'Éclairage électrique.**
Pompe pneumo-barométrique, de **M. Alban.** — Ozoneur à limaille métallique de **M. E.-U. Chatelain.** — Tube à fermeture spéciale pour analyses sous pression jusqu'à 200 atmosphères de M. le Dr **Pfungst.** — Deux microscopes **Koritska**, nouvelle construction.....	**Société centrale des Produits chimiques.**
Verseurs hermétiques de **M. de Sennevoy**.....	**Société l'Égide.**
Pipette pour mesurer les liquides odorants ou dangereux. — Appareil pour injection automatique du sérum artificiel.....	**M. Triollet.**
Électrolyseur pour la désargentation des plombs argentifères.... :.....	**M. D. Tommasi.**
Nouvel appareil destiné à l'élévation des liquides ou *trombe Trouvé* à débit illimité. — Éclairage intérieur des voitures de maître ou de place.....	**M. G. Trouvé.**
Électro-aimant donnant des champs de 30000 unités, construit pour la Faculté des Sciences de Rennes, par l'École pratique d'Industrie de cette ville et	

d'après les indications de M. **Pierre Weiss.** — Électro-aimant, petit modèle, construit par la maison **Lombard-Guérin** de Lyon. — Avec l'un de ces instruments, M. **A. Cotton** fera des expériences sur les changements de période qu'éprouve la lumière par l'émission dans un champ magnétique (phénomène de Zeeman) ..... **M. Pierre Weiss.**

Nouveaux moteurs à gaz et à pétrole fonctionnant avec ou sans eau et sans bruit, spécialement destinés à la petite industrie..... **Société des Moteurs simples.**

SÉANCE DU 6 MAI 1898.

PRÉSIDENCE DE M. JOUBERT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er avril est adopté.

M. ROCHEFORT décrit le nouveau *transformateur Wydts-Rochefort.* Les transformateurs qui servent actuellement à la production des rayons Röntgen, des courants d'Arsonval, à l'allumage électrique des moteurs à gaz ou à pétrole, sont du type de la bobine de Ruhmkorff; M. Rochefort rappelle la théorie de ces appareils et expose les perfectionnements qu'il a apportés.

L'expérience montre qu'il se produit, à l'intérieur de la bobine ordinaire, des décharges qui sont en raison directe de la tension demandée; il en résulte que l'étincelle, qui est très chaude et très brillante quand elle est courte, devient grêle et ténue en s'allongeant. Dans le nouvel appareil, les décharges intérieures sont entièrement supprimées, grâce à l'emploi d'un isolant pâteux spécial. L'induit se compose de deux galettes seulement, placées au milieu de l'inducteur; il comprend dix fois moins de fil que les bobines donnant des étincelles de même longueur; la surface du condensateur est réduite des deux tiers.

L'étincelle conserve le même aspect, quelle que soit sa longueur; la self-induction étant très faible, la durée de la décharge devient extrêmement courte, comme dans les machines statiques. Les tubes de Röntgen, dont l'anode ne s'échauffe pas, peuvent fonctionner très longtemps.

M. Rochefort présente trois types de bobine, qui absorbent 4,5 ampères environ sous 6 volts, fournis par une batterie portative de trois accumulateurs, et qui donnent respectivement des étincelles de 25 centimètres, moyennes ou intensives, et de 40 centimètres. L'interrupteur est rotatif, à mercure; les pointes sont en cuivre, et les parties mobiles en aluminium.

M. Rochefort étudie actuellement des transformateurs donnant 1 mètre d'étincelle; pour l'allumage des moteurs à gaz ses expériences sont concluantes et terminées.

M. Sagnac présente à la Société un nouvel électro-aimant de laboratoire pour la production des champs très intenses, construit d'après les indications de M. Pierre Weiss. La plupart des électro-aimants en usage sont d'un type ancien, qui n'a pas varié depuis Ruhmkorff et, malgré des qualités incontestables, est loin de donner ce que l'on peut obtenir par une construction plus conforme aux idées actuelles sur le circuit magnétique. C'est ce qu'a montré M. du Bois qui a traité théoriquement la question et vérifié ses conclusions au moyen d'un puissant électro-aimant annulaire pesant 270 kilogrammes et absorbant 6 1/2 chevaux. Il a ainsi réalisé le champ le plus élevé obtenu jusqu'à présent, 38000 C. G. S.

Le nouvel instrument présenté à la Société, beaucoup moins encombrant et moins coûteux, donne des résultats comparables à celui-ci, sans dépasser un poids de 100 kilogrammes et une dépense d'énergie de 2 chevaux.

Le circuit magnétique rectangulaire est disposé de façon à saturer les pièces polaires seulement; un faible excédent de section dans toutes les parties du circuit éloignées des pôles permet de réaliser une économie notable dans les ampères-tours, parce que la perméabilité croît très vite quand on descend en-deçà de la saturation.

La commodité du réglage des pièces polaires a une certaine importance. On a choisi un mouvement à vis, identique à celui de la contre-pointe des tours, qui permet de les avancer ou de les reculer indépendamment l'une de l'autre avec précision. La construction est suffisamment rigide pour éviter les flexions.

Le rectangle formant le circuit magnétique est suspendu horizontalement, au moyen de deux forts boulons, à un bâti en chêne, de façon à laisser tout l'espace sous les pièces polaires disponible pour le maniement des appareils accessoires.

Le champ obtenu varie suivant la forme des pièces polaires. Il est infini au sommet commun de deux armatures coniques et d'autant plus faible que l'on pratique sur ces cônes une troncature plus importante. On a obtenu, avec des cônes dont la petite base a 1 centimètre de diamètre :

$$H = 30000 \text{ C. G. S.}$$

Mais la véritable mesure de la qualité de l'instrument est l'intensité d'aimantation des pièces polaires, nécessaire pour produire le champ obtenu.

On trouve $I = 1630$, précisément le nombre que l'on peut déduire des mesures faites par M. du Bois sur son appareil plus puissant. La connais-

sance de ce nombre permet de calculer le champ que l'on obtiendrait avec des cônes quelconques; par exemple, si l'on pouvait se contenter d'un espace de $0^m,001 \times 0^m,002$, l'appareil donnerait 44000 C. G. S.

A l'aide de l'électro-aimant de M. Weiss, M. G. Sagnac fait devant la Société l'expérience par laquelle M. A. Cotton montre le changement de période de la lumière du sodium produit par le champ magnétique.

Lorsqu'on regarde une flamme A donnant la lumière jaune du sodium, en la projetant sur une autre flamme B donnant aussi cette lumière, on observe que les bords de cette flamme A paraissent noirs, *pourvu que les flammes soient convenablement choisies.* Autour d'une flamme au sodium il existe, en effet, une zone de quelques millimètres d'épaisseur, peu ou pas lumineuse, mais qui renferme encore du sodium et qui absorbe la lumière des raies D_1D_2. M. Cotton a remarqué que ces bords noirs, signalés par Crookes, n'apparaissent que si la flamme B donne les raies D_1D_2 très étroites; ils disparaissent complètement lorsqu'on prend une flamme trop brillante, renfermant trop de sodium, donnant des raies trop larges. On peut d'ailleurs constater directement que cette partie de la flamme présente deux raies d'absorption D_1D_2 très étroites.

Elles sont assez étroites pour que le changement de période que produit le champ magnétique sur la lumière de B supprime l'absorption et fasse disparaître les bords noirs, qui réapparaissent brusquement quand le champ est supprimé.

Cette expérience a été décrite dans les *Comptes rendus* du 29 novembre 1897, et avec plus de détails dans un article de *l'Eclairage électrique*, où l'on trouvera, en outre, des expériences sur le renversement des raies du sodium et sur l'application des raies renversées à l'étude du phénomène de Zeeman (voir les numéros des 5 et 26 mars 1898).

Dans le cas de l'expérience répétée devant la Société, l'observation est faite parallèlement aux lignes de force. Le champ très intense de l'électro-aimant utilisé rend l'expérience plus facile, mais il n'est pas nécessaire; on peut, en choisissant convenablement les flammes, réduire sa valeur à 1000 C. G. S., par exemple.

L'observation peut être faite perpendiculairement aux lignes de force, et l'on constate alors, à l'aide d'un nicol, la manière différente dont se comportent les vibrations parallèles et perpendiculaires au champ. Pour ces observations normalement aux lignes de force, on peut aussi employer le dispositif indiqué par M. König (*Annales de Wiedemann*, numéro supplémentaire de décembre 1897).

M. Wyrouboff fait observer, à propos du procès-verbal de la séance du 1er avril, que la théorie de M. Bunte sur l'incandescence des manchons Auer, exposée par M. Lamotte, n'est une théorie à aucun titre. Dans sa partie expérimentale elle n'apporte aucun fait qui ne soit connu et ne donne comme autre explication que l'*action catalytique du cérium*, qui n'est et ne peut avoir aucun sens précis. Ce qui a échappé à M. Bunte, comme à tous ceux qui ont esseyé d'expliquer l'intensité lumineuse du couple

thorium-cérium, ce sont les réductions et les oxydations partielles qui se produisent chaque fois qu'on chauffe l'oxyde ceroso-cérique. Ce sont ces réactions chimiques qui sont l'origine de la haute température qu'on observe dans le manchon ; le thorium n'y prend aucune part et ne sert que de support. La connaissance de ces faits dont on ne trouve aucune indication dans le mémoire de M. Bunte est très importante, car elle permet de formuler cette conclusion générale que tout oxyde susceptible de s'oxyder et de se réduire facilement, ajouté au thorium, donnera un manchon incandescent. C'est ainsi que le praséodidyme parmi les métaux du groupe du cérium, et l'uranium parmi les métaux lourds donnent une incandescence égale, sinon supérieure, à celle du cérium.

SÉANCE DU 20 MAI 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 6 mai est adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. CHRISTEN (Th.), à l'Observatoire de Météorologie dynamique de Trappes (Seine-et-Oise).

L'abbé GIRARDIN, Professeur à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

GUERRE, Constructeur d'instruments pour les Sciences à Paris.

GUYENOT, Docteur en médecine à Aix-les-Bains.

MASSON (Louis), à Montreuil-sous-Bois (Seine).

ROCHEFORT (Octave), Ingénieur des Arts et Manufactures à Paris.

VINCENT, Agrégé, Préparateur à l'Ecole normale supérieure à Paris.

M. LE PRÉSIDENT prononce l'allocution suivante :

MESSIEURS,

Il est de tradition que, chaque année, après nos séances de Pâques, votre Président, en vous en présentant un compte rendu rapide, adresse un remerciement bien mérité à tous ceux dont la bonne volonté et le zèle ont répondu à notre appel, et qui, en se donnant la peine de nous apporter ici des appareils divers ou d'y monter des expériences nouvelles et délicates, nous ont prêté leur concours pour cette sorte de fête annuelle de la Société de Physique. Ce devoir, qu'une indisposition m'a empêché de remplir, comme j'aurais dû et voulu le faire, dans notre précédente réunion, ne présente d'ailleurs rien que de facile et d'agréable, lorsqu'on

peut constater en même temps que le succès de ces séances et de l'exposition qui leur sert de cadre non seulement se maintient, mais paraît croître d'année en année. Celles de cette année ont offert, il me semble, en intérêt et en attractions de diverses sortes, de quoi donner satisfaction, et à nous, et à nos collègues non parisiens, qui, plus nombreux que jamais, ont profité des avantages que les Compagnies de chemins de fer veulent bien nous accorder à cette occasion; et aussi de quoi justifier l'empressement avec lequel les savants et le public étranger à la Société sont venus se presser dans nos salles pendant la soirée que nous avons l'habitude de leur réserver.

Le premier chapitre de notre programme comportait une visite à la station centrale de distribution d'électricité de la Compagnie Parisienne de l'air comprimé. Il va sans dire, Messieurs, que je ne puis entrer ici dans aucune description : cela m'entraînerait trop loin. Je dois me borner à adresser tous nos remerciements à M. Journet, directeur, pour la complaisance avec laquelle il nous a ouvert les portes de cette belle usine, très intéressante et en pleine voie de développement, et pour l'inépuisable bonne grâce avec laquelle lui-même et son personnel d'ingénieurs se sont mis, pour leur en montrer tous les détails, à la disposition des nombreux membres de la Société qui, dans la matinée et l'après-midi, ont pris part à cette visite.

Il est juste de signaler, en deuxième lieu, avec reconnaissance et éloges, les conférences ou communications que quelques-uns de nos collègues ont bien voulu nous faire dans la journée du samedi. M. Morin nous a parlé de la relation qui existe entre l'aimantation des aiguilles aimantées et leur longueur et a esquissé une théorie de la distribution magnétique. M. Ducretet est venu nous décrire et faire brillamment fonctionner devant nous les appareils qu'il construit pour la télégraphie hertzienne sans fil, avec le tube radioconducteur de M. Branly comme organe principal. M. Hurmuzescu nous a communiqué ses recherches sur l'influence de la nature du métal dans l'absorption et l'émission des rayons X. Enfin M. Camichel, qui avait apporté à notre exposition un ampèremètre et un voltmètre thermiques, a traité la question du contrôle des appareils électriques industriels. Ces quatre conférences ont eu des auditeurs nombreux, attentifs et intéressés, auprès desquels elles ont rencontré le plus légitime succès.

C'est toujours la soirée qui est, pour notre exposition, le moment le plus brillant et le plus animé. Si, en effet, d'un côté, la nuit favorise certaines expériences pour lesquelles la pleine obscurité est nécessaire, d'autre part l'éclat d'un très riche éclairage artificiel est merveilleusement propre à faire valoir tous ces beaux appareils, dans lesquels nos constructeurs s'entendent si bien à réaliser, avec les qualités indispensables du fonds, l'harmonie, l'élégance, l'agrément de la forme extérieure. Cette année, pour la première fois, nous avions à notre disposition le courant fourni par le secteur de la rive gauche; mais, pour s'éclairer, il ne suffit

point d'avoir l'électricité; encore faut-il pouvoir l'utiliser. C'est aux lampes à arc de M. Bardon que nous avons dû l'illumination que l'on admirait dans le vestibule, dans la salle d'entrée et dans la grande salle. M. Cance, dont le généreux concours est acquis à la Société depuis bien des années, s'était chargé d'éclairer la salle du Conseil. A côté de ces éclairages électriques, l'acétylène ne faisait point mauvaise figure, avec les lampes de MM. Létang et Serpollet, dans lesquelles le gaz est produit par du carbure glucosé, et qui brillaient à l'entrée du grand escalier. Je dois mentionner également les nouveaux modèles de lampes à acétylène de M. Gossart, à autorégulation par tubes capillaires, ainsi que celles de M. Corne, de M. Chabaud, de M. Démichel, qui, en divers points, ajoutaient leur brillante lumière à l'éclairage général.

Le secteur nous donne, comme vous le savez, du courant alternatif. Nous avons pourtant pu nous en servir pour diverses expériences qui exigent du courant continu, grâce à un transformateur que la Société de l'éclairage électrique avait bien voulu mettre à notre disposition.

Dans les diverses salles de nos trois étages étaient réunis un grand nombre d'appareils divers, dont beaucoup étaient en fonction sous nos yeux. Permettez-moi d'en faire rapidement le tour, en indiquant les principaux, sans ordre d'ailleurs et sans aucune prétention d'établir un classement et de distribuer des prix.

Comme on pouvait s'y attendre, c'est l'électricité, dans ses diverses branches et ses nombreuses applications, qui tenait la plus grande place. M. Carpentier avait exposé, dans la salle du Conseil, toute une série de beaux instruments, parmi lesquels je citerai : le rhéographe Abraham-Carpentier, disposé pour l'examen direct sur une glace dépolie et pour l'enregistrement photographique; les appareils que le professeur Bose nous a montrés dans l'une de nos séances, pour ses expériences de réflexion et réfraction des ondes hertziennes; de puissantes bobines d'induction avec divers perfectionnements; un interrupteur Foucault modifié, avec coupure double du courant inducteur, disposé pour fonctionner sur les courants d'éclairage; etc. A côté était le transformateur Wydts-Rochefort, qui a fait l'objet d'une communication dans la précédente séance. Un peu plus loin, les appareils de M. Larousse, construits par M. Torchebœuf, pour répéter les expériences d'Ampère, en utilisant les équipages comme couples thermo-électriques.

En parcourant les autres salles, nous rencontrions de nouveau le nom de M. Ducretet, qui présentait aussi un dispositif pour les expériences de M. Bose; de grandes bobines fonctionnant avec son nouvel interrupteur à mercure, indépendant; une machine électrostatique Wimshurst, à 12 plateaux, à grand débit; un voltamètre à gaz tonnant, fondé sur le principe de celui du lieutenant-colonel Renard, etc...

M. Dinin nous montrait ses accumulateurs, transportables, légers, du type qu'il emploie pour l'inflammation des moteurs des voitures automobiles; il en avait non seulement apporté pour sa propre exposition, mais

encore très libéralement fourni à d'autres pour l'exécution de diverses expériences. M. Gaiffe répétait les brillantes expériences du Dr d'Arsonval sur les courants de haute fréquence, et présentait en outre divers appareils de mesure et toute une jolie collection de petits moteurs électriques. Ces mêmes courants de haute fréquence se retrouvaient dans cette salle, où M. Radiguet nous éblouissait par de très brillantes expériences, auxquelles il a su donner une forme particulièrement élégante. Je dois nommer encore : MM. Arnoux et Chauvin, avec leurs divers instruments de mesure et de contrôle et leurs galvanomètres portatifs à cadre mobile; M. Lamotte, avec l'appareil de M. Drude pour l'étude de l'absorption des ondes électriques ; M. Guénée, avec les nouveaux électro-aimants de M. Bouchet; M. Crémieu, dont vous connaissez le nouvel interrupteur pour les bobines d'induction; M. Leroy, qui présentait également, avec divers autres appareils, un nouvel interrupteur; la Compagnie française d'appareillage électrique, dont le directeur, M. Zetter, a fait figurer une collection intéressante de commutateurs, interrupteurs, coupe-circuits, disjoncteurs à maxima et à minima. Dans un autre ordre d'idées, je signalerai l'électrolyseur de M. Tommasi pour la désargentation des plombs argentifères.

Parmi les expériences qui avaient fait l'objet de communications dans nos séances ordinaires, je n'aurai garde d'oublier celles de M. Broca sur les décharges électriques dans un champ magnétique, qu'il a bien voulu monter et répéter ici avec un plein succès. Je rappellerai aussi les appareils de M. Bouty pour appliquer sa nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques. Enfin je crois devoir adresser un remerciement spécial à MM. Pierre Weiss et Cotton, qui se sont donné la peine d'apporter de Rennes et de Toulouse les instruments nécessaires pour faire leurs expériences sur les changements de période qu'éprouve la lumière par l'émission dans un champ magnétique.

Les rayons X peuvent être placés aux confins de l'électricité et de l'optique. Dans la petite salle voisine, M. Bonnetti procurait à chacun la satisfaction de voir son propre squelette, avec le dispositif du Dr Dutot, sur un écran fluorescent illuminé au moyen d'un tube excité, non par une bobine, mais par une machine statique. M. Radiguet, M. Ducretet avaient exposé l'un et l'autre tout un matériel spécial pour la production et l'application de ces rayons. M. Chabaud présentait les tubes, si habilement construits par lui, sur lesquels M. Villard nous a fait plusieurs communications. M. Sagnac répétait les expériences qu'il nous a décrites tout récemment sur la transformation des rayons X par diffusion. L'application chirurgicale était particulièrement représentée par le dispositif de M. Contremoulins pour la recherche des projectiles dans le crâne. Enfin nos murs étaient tapissés d'un nombre considérable de très belles radiographies, dues à MM. Chabaud, Ducretet, Lenoir, Hurmuzescu et Londe.

Si nous passons à l'optique, nous avons encore bien des noms et bien des appareils à signaler. M. Jobin exposait un appareil Desains pour la

mesure des longueurs d'ondes, disposé pour la projection; un spectroscope interférentiel de MM. Pérot et Fabry; un spectroscope à vision directe de Thollon, d'autres appareils encore, et quelques-uns de ces plans optiques, destinés aux recherches de M. Hamy, qui, pour le public profane, ne font guère plus d'effet que de simples morceaux de glace ordinaire, mais dont le physicien appelé à s'en servir pour des expériences d'interférence sait apprécier la remarquable perfection. De son côté, M. Pellin nous montrait aussi des lames étalons pour la mesure des minces lames d'air par la méthode si délicate de MM. Pérot et Fabry, avec la lampe à arc au mercure de ces mêmes physiciens; puis toute une belle collection d'instruments, que je ne puis tous citer et parmi lesquels je mentionnerai seulement : les dilatomètre et pyromètre optiques de M. Le Châtelier; un photopolarimètre de M. Cornu, un photomètre de MM. Blondel et Broca, un actinomètre enregistreur de M. Crova, divers hématospectroscopes du Dr Hénocque, etc.; — enfin un étalon secondaire de lumière à flamme de M. Blondel. Près de cette exposition se trouvait celle des appareils microphotographiques, avec d'ingénieuses dispositions, de M. Cogit. Je dois citer encore ici M. Carpentier, avec son sphéromètre viseur destiné à la mesure des rayons de courbure des lentilles, et son tachéographe Schrader pour le tracé direct des cartes topographiques; — et aussi M. Ducretet, qui exposait un photothéodolite du colonel Laussedat.

De l'optique à la photographie il n'y a qu'un pas; nous le franchissons en signalant les appareils de M. Cailletet pour les recherches sur la haute atmosphère, construits par M. Gaumont, qui présentait en même temps un chronophotographe Démeny, avec poste complet pour projections. M. Jules Richard, M. Leroy exposaient divers appareils de photographie stéréoscopique perfectionnés. Je dois rappeler aussi les intéressantes photographies relatives à divers phénomènes électriques que nous a apportées M. de Heen.

Je voudrais, Messieurs, aller plus vite; je ne puis pourtant omettre la belle exposition d'instruments enregistreurs de ce même M. Richard, que je viens de nommer : baromètres enregistreurs sur place et à distance; enregistreur automoteur adapté à une balance construite pour le Dr G. Weiss, régulateurs de température pour distilleries, sucreries, etc.; régulateurs automatiques de tension ou d'intensité pour dynamos, etc. Je dois citer encore M. Doignon, qui exposait l'appareil de démonstration de M. le commandant Guyou, pour la correction du compas, divers instruments pour des mesures de précision, et une série de petits moteurs électriques, que j'aurais pu et dû signaler déjà plus haut; — et aussi M. Démichel, avec ses appareils variés : calorimètre, éthéomètre, viscosimètre, balance à chaînette, etc.

L'acoustique était représentée par les photographies des flammes manométriques dont le Dr Marage nous a parlé dans plusieurs communications, et par les appareils inscripteurs de M. l'abbé Rousselot et de M. Zünd-Buguet.

En glanant ensuite, dans divers ordres d'idées et un peu au hasard, je mentionnerai encore les appareils de M. Mathias pour l'étude calorimétrique complète des liquides saturés; — le dispositif simple et ingénieux de M. Guillaume pour mettre en évidence les propriétés singulières qu'il a découvertes dans les alliages d'acier et de nickel; — la délicate petite balance de M. Collot, qui sépare automatiquement les pièces d'or trop légères de celles qui ont le poids juste; — les pompes et trompes à mercure de M. Chabaud; — la trompe soufflante et aspirante et quelques autres appareils de M. Berlemont; — la trombe à débit illimité de M. Trouvé; — divers instruments : anémoscopes, anémomètres, compteurs de tours, compteurs kilométriques, etc., de MM. Château père et fils; — les tubes en acier sans soudure remplis d'oxygène comprimé à 140 atmosphères, et les différents appareils accessoires, de MM. Dutremblay et Lugan; — l'aérateur pour l'eau et l'anémotrope de M. Maillet; — les verseurs hermétiques de M. de Sennevoy; — les pipettes et appareils pour injection de M. Triollet; — le moteur à gaz ou à pétrole fonctionnant avec ou sans eau, et sans bruit, présenté par la Société des moteurs simples; — l'essai d'oiseau à vapeur de M. Delaurier, construit par M. Clarenc.

Je puis ajouter que l'union du côté artistique et pittoresque au côté scientifique se trouvait représentée par les nombreuses photographies exposées dans divers appareils dont j'ai déjà parlé; par les belles projections que M. Molteni, avec son habituelle complaisance, nous faisait dans la salle de la Bibliothèque, et dans lesquelles il faisait alterner des vues de paysages, monuments, œuvres d'art, etc., avec les épreuves plus austères, mais très instructives, que M. Charpy a obtenues dans ses études sur la texture microscopique des alliages métalliques; — enfin par les auditions du phonographe de M. Lioret.

Je dois enfin vous rappeler que vous avez pu voir sur l'une de nos tables le premier exemplaire sorti de l'imprimerie du *Recueil de données numériques relatives à la Physique*, que notre Société a décidé de mettre au jour. Ce volume n'est encore que le premier des *trois* qui doivent contenir les données relatives à l'optique. Les deux autres, complètement terminés, s'impriment régulièrement et paraîtront à leur tour assez prochainement. Si vous y avez jeté un coup d'œil, vous aurez pu aisément vous convaincre que cette œuvre sera propre à faire le plus grand honneur à la fois à la Société qui en a pris l'initiative; à l'auteur, notre collègue M. Dufet, qui y a consacré un énorme labeur pendant dix années; et enfin à l'éditeur, M. Gauthier-Villars, qui a su donner à tous ces documents une forme parfaitement nette et claire et un aspect agréable à l'œil.

Je n'aurais pas dit, Messieurs, tout ce que je pense si je n'ajoutais encore un mot. J'ai remercié au nom de la Société tous ceux, savants, expérimentateurs, constructeurs, qui nous ont apporté leur concours pour nos séances de Pâques. Mais réunir toutes ces bonnes volontés éparses pour les faire converger vers un même but, en tirer le meilleur parti possible, assigner à chacun la place la mieux appropriée dans un cadre qui com-

mence à devenir trop étroit, veiller à ce que tous aient sous leurs mains les accessoires qui peuvent leur être nécessaires, etc., en un mot, organiser nos séances et notre exposition de façon à satisfaire à la fois et les exposants et le public; tout cela, Messieurs, passez-moi ce terme familier, ne se fait pas tout seul; on le reconnaît lorsque, comme je l'ai fait cette année, on suit d'un peu près ce travail préliminaire d'organisation. Ce n'est donc pas pour reproduire une fois de plus un cliché banal que j'adresse aussi, au nom de nous tous, nos plus sincères remerciements à notre excellent Secrétaire général M. Pellat, qui, avec l'aide toujours dévoué et actif de M. Sandoz, a donné sans compter tous ses soins et toute sa peine à cette tâche, et auquel le succès est dû pour une bonne part.

Je me reproche, Messieurs, d'avoir été trop long. J'ai mentionné bien des noms, bien des appareils, bien des expériences; et cependant cette énumération est encore incomplète, et les lacunes qu'elle présente devront être remplies par le programme détaillé de notre exposition joint à ce résumé, dont je n'aurais pu sauver la sécheresse qu'en y ajoutant des détails qui en auraient fait aisément un interminable Rapport. Si je l'ai fait ainsi, non sans quelque plaisir, au risque de vous fatiguer un peu, c'est qu'il me semble qu'un tel exposé, si rapide et écourté qu'il soit, serait suffisant, à défaut d'autres preuves, pour montrer que notre Société, après un quart de siècle d'existence, est toujours jeune, bien vivante, bien agissante; qu'elle continue à remplir fidèlement l'objet que s'était proposé, et à justifier les espérances qu'avait conçues son regretté fondateur, dont l'image préside à toutes nos réunions. Je ne saurais mieux terminer qu'en exprimant le vœu qu'elle continue à progresser dans la même voie, et que nos expositions de Pâques des années futures soient pour elle l'occasion de nouveaux et plus éclatants succès.

M. P. Villard présente un tube de Crookes régénérable et muni, en outre, d'une anticathode intensive d'un modèle nouveau.

Le régénérateur se compose d'un tube de platine fermé à un bout, et soudé par l'autre à l'ampoule de Crookes. Vient-on à chauffer ce tube avec un bec Bunsen, l'hydrogène de la flamme traverse le platine par osmose et pénètre dans l'appareil. On peut ainsi introduire dans celui-ci du gaz aussi souvent et en telle quantité que l'on veut, la source dont on dispose étant inépuisable. Si on a dépassé le but, on fait sortir l'excès d'hydrogène en chauffant de nouveau le tube de platine entouré cette fois d'un manchon, en platine également, qui l'isole des gaz de la flamme et laisse l'air circuler autour de lui. La première de ces opérations est de beaucoup la plus rapide, et c'est précisément la seule que l'on ait à effectuer dans la pratique courante ; on peut la faire au courant d'une radiographie, sans interrompre l'expérience ; on se sert alors d'un petit chalumeau spécial, à manche isolant, dont la flamme est très chaude. L'auteur décrit ce chalumeau et en montre le fonctionnement.

M. P. Villard signale ensuite une propriété des écrans fluorescents au platinocyanure de baryum ou de potassium :

Sous l'action des rayons X ces substances perdent partiellement leur sensibilité. Un obstacle étant par exemple interposé entre un tube de Crookes en activité et un écran projette une silhouette sombre sur la surface fluorescente ; si après quelques minutes on retire l'obstacle, sa silhouette apparaît encore sur l'écran, mais en clair. Le phénomène est d'autant plus marqué que l'obstacle était plus opaque et la pose plus longue.

L'écran donne alors, sous l'action des rayons X, des images d'objets absents. Au moyen de lames métalliques d'épaisseurs diverses, convenablement découpées, on peut ainsi préparer un écran qu'il suffit d'exposer aux rayons X pour voir apparaître un paysage par exemple.

La modification du platinocyanure est d'ailleurs visible à la lumière si la pose a été un peu longue: le sel a légèrement bruni. Cette modification paraît persister indéfiniment à l'obscurité, mais elle est détruite par l'action de la lumière, ce qui permet de régénérer l'écran.

L'auteur conclut qu'il y a tout intérêt à ne jamais laisser les écrans enfermés à demeure dans les chambres noires employées en fluoroscopie.

M. G. Sagnac remarque que les expériences de M. P. Villard, relatives à l'écran magique, viennent appuyer par un bel exemple les *analogies* qu'il a déjà signalées entre les modes d'action respectifs des rayons lumineux et des rayons X sur la matière (1). Le platinocyanure de l'écran magique a, en effet, éprouvé, sous l'action des rayons X, une modification que peut détruire ensuite une action prolongée de la lumière. Or l'histoire des relations entre la lumière et la matière présente de nombreux exemples de modifications de la matière qui, provoquées, par exemple, par des rayons lumineux bleus ou violets, sont détruites par des rayons lumineux rouges ou infra-rouges (2).

Spectroscope interférentiel de MM. A. Perot et Ch. Fabry, construit et présenté par M. Jobin. — M. Jobin présente un appareil de démonstration que MM. Perot et Fabry lui ont demandé de construire pour faire comprendre par un dispositif simple leur méthode de spectroscopie interférentielle.

Cette méthode est basée sur les propriétés optiques des lames argentées dont les auteurs ont déjà fait et décrit plusieurs applications : électromètre absolu pour petites différences de potentiel ; lames étalons pour mesure rapide en longueur d'onde de petites épaisseurs d'air, etc.

M. Jobin rappelle les propriétés des lames argentées.

Les franges obtenues par transmission dans des lames minces (anneaux de Newton par exemple) sont estompées et peu visibles, car elles sont noyées dans l'éclairement du faisceau transmis.

(1) Voir G. Sagnac, *Comptes Rendus* du 19 juillet 1897 ; et *Revue générale des Sciences* du 30 avril 1898.

(2) Voir en particulier à ce sujet : Becquerel, *La Lumière*, et *Journal de Physique*, 1re série, t. VI, p. 137 (1877) ; Claudet, *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXII, p. 332 (1848).

La répartition de la lumière en fonction de l'épaisseur est représentée par une sinusoïde de contours arrondis, dont les maxima et les minima sont peu distants.

Le phénomène change complètement d'aspect si la lame mince, au lieu d'être limitée par deux surfaces de verre, est limitée par deux surfaces possédant un pouvoir réflecteur élevé comme dans le cas de deux surfaces argentées, mais encore transparentes.

Les maxima et les minima sont plus distants. Ces derniers sont presque nuls. On obtient des franges brillantes fines se détachant sur un fond sombre. Ce phénomène est dû aux réflexions multiples. La courbe de répartition de la lumière est une courbe de contours aigus rappelant une forme de crémaillère dont les dents assez hautes seraient séparées par un large plein. On conçoit ainsi que, si la lumière incidente contient plusieurs radiations simples, chacune d'elles donnera son système de franges parfaitement distinct, précisément à cause de la finesse des franges brillantes.

Si donc on peut arriver à des franges d'ordre très élevé, on voit que l'on pourra séparer nettement des variations très voisines.

A part ces particularités, les franges de lames argentées jouissent de toutes les propriétés des franges de lames minces ordinaires. En particulier la différence de marche dépend à la fois de l'épaisseur e et de l'angle d'incidence i, suivant la formule connue :

$$(1) \qquad \Delta = 2e.\cos i.$$

De là deux manières simples d'observer ces franges :

1° En lumière parallèle et ordinairement normale à la lame. Les franges sont localisées dans la lame et y dessinent les courbes d'égale épaisseur. Quand l'épaisseur est faible, on les obtient très facilement sans précautions spéciales.

Quand, au contraire, Δ est grand, on devra s'appliquer à employer de la lumière exactement parallèle et normale à la lame.

2° En lumière convergente. La lame devra être dans ce cas à faces rigoureusement parallèles. Les franges sont localisées à l'infini.

Δ est maximum pour $i = 0$ et va en décroissant à mesure que l'inclinaison augmente.

En observant les franges avec une lunette pointée à l'infini, on obtiendra donc une série d'anneaux dont le centre est sur la normale à la lame. Ces anneaux d'abord larges vont en se resserrant de plus en plus. C'est au centre que la différence de marche est maxima, contrairement à ce qui a lieu dans les anneaux de Newton.

Ce sont ces anneaux, connus depuis longtemps dans le cas des lames ordinaires, que MM. Pérot et Fabry utilisent avec leurs propriétés particulières, dans des lames à faces argentées, dans un spectromètre qu'ils ont réalisé eux-mêmes.

La lame d'air d'épaisseur variable est limitée par deux glaces argentées, dont l'une est fixe, et l'autre mobile parallèlement à elle-même.

Cette dernière condition exige un réglage très parfait. Un appareil basé sur les mêmes principes de construction est actuellement en cours de fabrication et sera bientôt susceptible d'être présenté en séance.

Supposons qu'on examine avec un semblable appareil une source composée de deux radiations très voisines λ et $\lambda + \Delta\lambda$.

Chacune d'elles donnera son système d'anneaux.

e étant d'abord très faible, les deux systèmes seront confondus.

Si e augmente, ils iront en se séparant progressivement.

Ils se dédoubleront exactement quand :

$$e = \frac{1}{4} \cdot \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}.$$

Dans ce cas la mesure de e et la connaissance de λ donnera $\Delta\lambda$.

Si e continue à augmenter, les deux systèmes d'anneaux se rapprocheront pour se superposer de nouveau, etc.

MM. Pérot et Fabry se servent ainsi de leur appareil comme spectromètre : ils ont étudié déjà certaines radiations en vue de compléter l'analyse qui en a été faite par M. Michelson.

Le réglage d'un semblable appareil est très délicat.

MM. Pérot et Fabry ont songé, pour un appareil de démonstration, à remplacer la lame d'air comprise entre deux faces de verre argentées par une lame de verre dont les deux faces sont argentées.

L'équation (1) devient :

$$\Delta = 2ne \cos r,$$

n étant l'indice du verre ; r, l'angle de réfraction dans le verre. Le phénomène conserve son aspect. Cependant il est bon de dire qu'il est ici moins beau que dans le cas d'une lame d'air.

Les couches d'argent sont moins réfléchissantes du côté verre que du côté extérieur, et les défauts d'homogénéité du verre sont ici sensibles.

Par contre, l'appareil est fort simple et supprime tout réglage pour l'opérateur.

Une glace ronde à faces planes et parallèles, travaillée avec soin, demi-argentée de chaque côté, est posée dans une sorte de barillet. Ce barillet est fermé aux deux extrémités par deux glaces ordinaires, serties dans des montures vissées et mettant la glace argentée à l'abri de l'air et des accidents.

L'une de ces montures fait contre et maintient la glace argentée à la façon d'un objectif dans son barillet. Pour ne pas déformer les surfaces de la glace argentée, les contacts et les pressions se font par l'intermédiaire de rondelles d'étoffe pelucheuse et molle.

L'appareil ainsi conçu est très maniable : il a l'aspect extérieur d'un cylindre d'environ 2 centimètres de hauteur sur 5 centimètres de diamètre.

L'épaisseur de la lame a été choisie pour dédoubler à peu près exactement les deux raies vertes du thallium, dont l'intervalle est environ $\frac{1}{50}$ de l'intervalle des deux raies D du sodium.

Cet appareil pourrait séparer nettement deux radiations deux fois plus voisines. En augmentant l'épaisseur de la lame, on accroîtrait encore sa puissance. Mais ce n'est qu'un appareil de démonstration. L'appareil d'étude est celui à lame d'air d'épaisseur variable.

Néanmoins il est intéressant de dire que cet appareil de démonstration, sous ses petites dimensions et avec sa simplicité de construction, constitue un appareil d'une puissance comparable à celle des plus puissants spectroscopes à réseaux ou à prismes.

M. Jobin fait ensuite l'expérience avec quelques appareils de ce type et montre à la Société les anneaux fournis par un tube de Michelson au mercure et par un tube au thallium.

La lumière émise par ces tubes au sortir de l'étuve est convergée sur la lame argentée au moyen d'une lentille d'environ 20 centimètres de foyer.

L'appareil interférentiel est disposé sur un trépied ordinaire de laboratoire permettant de l'orienter et de centrer les anneaux dans le champ d'une lunette pointée à l'infini.

SÉANCE DU 3 JUIN 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mai est adopté.

M. LE SECRÉTAIRE GÉNÉRAL annonce l'envoi d'une note de M. A. *Bandsept* intitulée : *Brûleurs et manchons pour l'incandescence par le gaz.*

La production de l'acétylène par le carbure de calcium glucosé Letang et Serpollet, par M. LETANG. — La production de l'acétylène par la décomposition, par l'eau, du carbure de calcium brut, s'effectue avec irrégularité. En outre, la réaction ne prend pas fin dès que l'on cesse de mettre l'eau en contact avec le carbure.

La cause principale des actions perturbatrices réside dans l'accumulation d'une quantité d'eau considérable, dans la chaux de décomposition. Une deuxième cause, moins importante, réside dans l'action de la vapeur d'eau produite sur le carbure.

Le procédé imaginé pour régulariser la production de l'acétylène, et faire concorder l'arrêt de la réaction avec l'éloignement de l'eau, est fondé sur l'action dissolvante que présentent les sucres en général pour dissoudre la chaux.

Le procédé de préparation employé par MM. Letang et Serpollet consiste sommairement en ceci: Le carbure de calcium concassé en menus morceaux est plongé dans une solution concentrée et chaude de glucose. Il est ensuite exposé sur des claies à l'action d'un courant d'air froid et sec.

A la suite de ces opérations, chaque morceau de carbure se trouve recouvert d'un enduit de glucose très peu sensible à l'humidité.

Mis dans un panier à claire-voie et immergé dans deux fois son poids d'eau, le carbure se décompose en acétylène, et le sucre, réagissant sur la chaux en même temps qu'elle se produit, la décompose en un liquide blanc qui s'écoule au fur et à mesure de sa production.

A la fin de l'opération il ne reste rien dans le panier. Le fond du vase est, au contraire, couvert d'une couche de chaux qui se dépose lentement, et finit par atteindre un volume total égal à la moitié environ du volume du carbure décomposé.

Si l'on avait opéré sur du carbure ordinaire, la presque totalité de la chaux serait restée dans le panier et y occuperait un volume double de celui occupé primitivement par le carbure.

Il n'est pas nécessaire d'employer une grande quantité de sucre pour obtenir le résultat désiré.

La théorie indique bien que, pour transformer 56 grammes de chaux en sucrate de chaux tribasique, il faut mettre en présence la quantité considérable de 171 grammes de sucre. Mais la pratique a démontré qu'il était inutile, au point de vue du fonctionnement des appareils, de transformer la chaux en sel soluble de chaux. Il suffit, en effet, qu'elle devienne une masse fluide, et, pour cela, il n'y a pas lieu de l'additionner de plus de 10 à 12 0/0 de glucose.

Toutefois, pour obtenir de bons résultats, il faut que le carbure glucosé soit mis en contact avec une notable quantité d'eau, la désagrégation ne pouvant avoir lieu sans cela.

On ne saurait donc obtenir un bon fonctionnement d'un appareil dans lequel l'eau tomberait goutte à goutte sur le carbure.

Le carbure préparé au glucose permet de fabriquer l'acétylène en quantités considérables, dans un appareil de très faible volume et de poids extrêmement réduit.

Sans recourir au réservoir, assez dangereux et d'un usage dispendieux, où l'acétylène est emmagasiné sous pression, on construit des appareils à carbure glucosé autoproducteurs de gaz, assez légers et assez peu encombrants pour être avantageusement substitués aux appareils électriques pour l'éclairage des wagons, des tramways, des phares et dans tous les cas où les conditions d'espace disponible et de poids étaient jusqu'à présent de nature à exclure l'emploi de l'acétylène.

M. Colardeau décrit une série d'expériences qu'il a entreprises en vue de résoudre la question suivante :

Supposons que, par suite d'une circonstance quelconque, l'étalon du mètre vienne à être détruit, ainsi que toutes ses copies et toutes les

longueurs connues en fonction du mètre. Admettons, en un mot, qu'il ne reste rien autre chose de cette unité que le *souvenir* qu'on en pourrait avoir. Ne pourrait-on chercher à utiliser ce seul souvenir pour reconstituer l'unité perdue ?

La méthode suivante se présenterait à l'esprit :

On s'adresserait à un grand nombre de personnes ayant eu, avant l'accident, l'occasion de voir ou de manier fréquemment la longueur du mètre. On leur présenterait une tige rectiligne de longueur quelconque, manifestement supérieure à 1 mètre, et on les prierait de marquer un trait sur cette tige de manière que la distance entre ce trait et l'une des extrémités de la tige représente aussi bien que possible, d'après leur appréciation, la longueur qu'elles ont connue autrefois sous le nom de mètre. On prendrait la moyenne de toutes ces indications quand on en jugerait le nombre suffisant, et on aurait ainsi la longueur qui, d'après l'opinion générale des personnes soumises à l'expérience, devrait être le mètre. Que vaudrait ce mètre ainsi reconstitué ? — Avec quel degré d'approximation aurait-on chance de retrouver le mètre vrai, si l'on tentait cette expérience ?

Au lieu d'opérer directement sur la longueur même du mètre, on pourrait appliquer la méthode précédente à la reconstitution du décimètre, par exemple, qu'on ajouterait dix fois à lui-même. D'une façon générale, on pourrait reconstituer directement la longueur de n centimètres et l'ajouter $\frac{100}{n}$ fois à elle-même pour avoir un mètre reconstitué d'après de nouvelles données. Tous ces mètres seraient-ils équivalents ?

Pour trancher la question, M. Colardeau a entrepris, sur 100 opérateurs de bonne volonté, une étude systématique de la faculté d'évaluation des longueurs, pour examiner si certaines d'entre elles sont privilégiées au point de vue de l'approximation relative avec laquelle elles sont évaluées et, par suite, auraient chance de donner une meilleure reconstitution du mètre.

Ces 100 opérateurs ont été subdivisés en 10 groupes comprenant chacun 10 personnes appartenant à une même catégorie de fonctions (physiciens, mathématiciens, chefs d'ateliers, ouvriers mécaniciens, etc.). Ils ont été soumis à deux épreuves successives. La première consistait à leur faire évaluer, *à la simple vue*, la longueur d'une série de réglettes. Dans la seconde épreuve, on leur mettait entre les mains une tige rectiligne munie d'un anneau formant curseur, et on les priait de placer ce curseur au point jugé par elles convenable pour que sa distance à l'extrémité de la tige représentât une longueur donnée d'avance. Les résultats ont été traduits par des graphiques qui permettent d'apprécier, d'un seul coup d'œil, la valeur de chaque opérateur dans les deux épreuves.

Un certain nombre de ces graphiques sont projetés pendant la séance. En les discutant, on se rend compte que le hasard et l'arbitraire sont loin d'avoir, dans des expériences de ce genre, une aussi grande part que celle

qu'on pourrait croire *a priori*. Chaque personne est assez logique avec elle-même dans tout le cours de l'examen qu'elle subit. Elle paraît s'attacher, pour faire ses évaluations, à une certaine unité qu'elle conserve dans son imagination, en passant d'une épreuve à l'autre. En particulier, on constate qu'il y a bien, entre les allures des deux courbes traduisant les deux épreuves pour chaque opérateur, les relations qu'un raisonnement simple permet de prévoir.

Dans un tableau d'ensemble résumant (toujours par la méthode graphique) les réponses fournies par les 100 opérateurs, on voit apparaître bien nettement la tendance des erreurs commises, à mesure que les longueurs à reconstituer se modifient. Toutes les longueurs faibles sont reconstituées trop longues. Au contraire, les plus grandes des longueurs proposées sont reconstituées trop courtes. Dans l'intervalle, on trouve des longueurs reconstituées beaucoup plus exactement.

Une courbe résumant la moyenne des 100 indications fournies pour la reconstitution de chaque longueur montre qu'il y a une de ces longueurs qui est privilégiée, et qui reconstitue le mètre beaucoup plus exactement que les autres. Cette longueur serait voisine de 15 centimètres. — Ainsi, le mètre, reconstitué par des longueurs faibles telles que 1 ou 2 centimètres, serait certainement trop long (d'environ 1 décimètre). La reconstitution par des longueurs croissantes donne des erreurs par excès qui vont en diminuant à mesure que l'on s'approche de la longueur 14 centimètres qui reconstitue le mètre à moins de 1 millimètre près. Puis viennent des erreurs par défaut, qui, pour la plus grande des longueurs étudiées (qui est 36 centimètres) fourniraient un mètre trop court de plus de 7 centimètres.

La reconstitution directe de la longueur même du mètre est beaucoup moins bonne que celle qui serait obtenue au moyen du décimètre, du double décimètre, et surtout des longueurs intermédiaires. On s'imagine, en générale, le mètre plus long qu'il ne l'est réellement, et la moyenne des 100 opérateurs le donne trop long de plus de 4 centimètres.

En résumé, un essai de reconstitution du mètre, conduit d'après la méthode précédente, n'aurait pas les mêmes chances d'aboutir à un résultat exact, suivant qu'il porterait sur ce mètre lui même, ou sur l'un de ses sous-multiples. C'est avec des longueurs comprises entre le décimètre et le double décimètre qu'on aurait chance d'avoir les meilleurs résultats. Et il y a lieu de penser que la moyenne des reconstitutions obtenues à l'aide de plusieurs longueurs réparties entre ces limites fournirait le résultat exact à quelques millièmes près.

A propos de la communication de M. Colardeau, M. Broca insiste sur un point de vue spécial qu'elle permet de mettre en lumière. Depuis Fechner beaucoup de physiologistes ont pensé qu'on pouvait énoncer la loi générate suivante : on perçoit des rapports et non des différences, ce qui implique que, dans une évaluation au jugement, l'erreur commise doit être

proportionnelle à la quantité évaluée. M. Colardeau vient d'infirmer, une fois de plus, cette loi pour le cas très intéressant des évaluations de longueurs. Les évaluations de longueur normale à la ligne de visée se font, dans la plupart des cas, par des mouvements de l'œil. On peut concevoir ainsi que les petites longueurs sont évaluées en général, par excès et les grandes par défaut. Dans le premier cas nous comptons le nombre de saccades égales à 1 centimètre, par exemple, et nous comptons la dernière, plus petite, comme une entière. Pour les grandes longueurs nous comptons mal. Il serait intéressant de reprendre ces expériences sur des longueurs de quelques millimètres contenues tout entières dans la zone de fixation, évaluées par conséquent sans mouvement de l'œil et aussi sur des sujets privés pendant un certain temps de la vue des règles graduées, pour voir comment la mémoire du diamètre apparent étalon (le centimètre en général) varie avec le temps.

M. Ch.-Ed. Guillaume présente un appareil construit avec la collaboration de M. J. Pettavel, et destiné à la *détermination mécanique des courbes terminales des spiraux*, suivant les conditions indiquées par Phillips. L'isochronisme des oscillations d'un balancier actionné par un spiral cylindrique est assuré, comme l'a indiqué Phillips, lorsque le spiral, d'un nombre suffisant de spires, est terminé par deux courbes assujetties aux conditions suivantes : Le centre de gravité de chaque courbe est situé sur le rayon perpendiculaire à celui qui passe par le centre du système, et par l'origine de la courbe, c'est-à-dire par le point où elle commence à s'écarter de la forme générale des spires. Ce centre de gravité doit être à une distance de l'axe exprimée par $\frac{\rho_0}{l}$, ρ_0 étant le rayon primitif des spires, l la longueur de la courbe, entre son origine et son encastrement, à la virole ou au piton.

Jusqu'ici, les courbes de Phillips, qui sont en nombre infini, ont été déterminées par un procédé graphique assez laborieux. Les auteurs lui substituent un procédé mécanique, consistant à équilibrer une plate-forme sur une pointe, puis à y fixer, dans deux pinces, la courbe à déterminer représentée par un fil métallique flexible, après avoir placé, sur la plate-forme, un poids égal à celui de la courbe, à la distance de la pointe indiquée par la deuxième condition de Phillips. On retouche ensuite la courbe avec des pinces appropriées, jusqu'à ce que le disque revienne à l'équilibre. La ligne représentée alors par le fil de métal est une courbe de Phillips, qu'il suffit de relever et de réduire pour pouvoir l'appliquer à un spiral quelconque.

Au moyen de leur appareil, les auteurs obtiennent, en quelques minutes, un nouveau type de courbe, alors que le procédé graphique exige, en général, plusieurs heures pour arriver au même résultat.

SÉANCE DU 17 JUIN 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOIT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 3 juin est adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce que M. *I. de Rey Paillade* fera une conférence au Siège de l'Ecole d'Horlogerie, 30, rue Manin, jeudi prochain, 23 juin, à cinq heures très précises, *sur l'application du système décimal à la mesure du temps.*

M. LAGRANGE communique par lettre un moyen d'étudier *la chute de l'aimantation dans le fer doux.* Dans le champ d'un électro-aimant est placée l'extrémité d'un tube de Crookes allongé, traversé, perpendiculairement aux lignes de force magnétique, par un mince faisceau de rayons cathodiques qui vient frapper un écran fluorescent disposé au fond du tube. La tache lumineuse se déplace quand on excite l'électro-aimant; à la rupture du courant on la voit revenir d'abord rapidement, puis lentement à sa position première. En observant à l'aide du miroir tournant, on voit la tache décrire une courbe qui peut servir à caractériser la variation du flux en fonction du temps. Cette courbe descend d'abord rapidement, puis se rapproche lentement de l'horizontale, conformément aux résultats des expériences de Felici et de E. Stracciati. Il est avantageux d'exciter le tube par une machine statique, sous de très faibles différences de potentiel.

M. GUILLAUME rappelle que M. Hess a, le premier, décrit un procédé général d'enregistrement photographique des variations d'intensité d'un champ magnétique quelconque, basé sur la déviation des rayons cathodiques (*C. R.*, p. 57, t. CXIX; 1894).

Sur une méthode purement physique pour la détermination rigoureuse des poids atomiques, par M. DANIEL BERTHELOT. — Les équivalents chimiques représentent les proportions pondérables selon lesquelles les corps se combinent. La méthode la plus directe pour les déterminer est donc la *méthode chimique*, qui consiste à faire l'analyse ou la synthèse d'un corps composé; on obtient ainsi une première échelle d'équivalents et, par suite, de poids moléculaires. Mais on peut employer également une *méthode physique* fondée sur la loi de Gay-Lussac, d'après laquelle les volumes des corps qui se combinent, mesurés à l'état gazeux, sont entre eux dans des rapports simples et sur le principe d'Avogadro-Ampère qui est une généralisation de cette loi et d'après lequel les volumes moléculaires de tous les gaz sont égaux. Les densités des gaz fournissent donc une nouvelle échelle de poids moléculaires.

On constate que cette seconde échelle ne concorde pas exactement avec la première, mais s'en écarte d'autant plus que les gaz s'écartent eux-mêmes davantage des lois de Mariotte (compressibilité) et de Gay-Lussac (dilatation). Le principe d'Avogadro-Ampère ne pourrait être exact, en effet, pour diverses températures et diverses pressions que si tous les gaz suivaient une même loi de compressibilité et de dilatation. Or il résulte des expériences de Regnault qu'il tend à en être ainsi quand la pression diminue. L'échelle physique des poids moléculaires fondée sur les densités se rapproche d'autant plus de l'échelle chimique que la pression est plus faible, et se confondrait avec elle si l'on substituait aux densités normales (c'est-à-dire mesurées à 0° et sous la pression de 1 atmosphère) les densités limites prises sous une pression infiniment faible.

Ces densités limites δ ne peuvent pas être mesurées expérimentalement; mais le calcul montre que, pour passer de la densité normale d à la densité limite δ, il faut multiplier la première par le facteur $1 - \varepsilon$, ε représentant ici l'écart de la compressibilité du gaz par rapport à la loi de Mariotte entre 0 et 1 atmosphère.

On voit d'ailleurs facilement que l'on a $1 - \varepsilon = v_m$, v_m étant le volume normal (c'est-à-dire mesuré à 0° et sous 1 atmosphère) de 1 molécule du gaz considéré, le volume normal de 1 molécule d'un gaz parfait étant supposé égal à 1.

L'écart ε est défini, en général, par l'équation de Regnault :

$$\varepsilon = 1 - \frac{p_0 v_0}{pv} = A_p^{p_0} (p_0 - p),$$

v_0, v représentant les volumes d'une masse de gaz sous les pressions p_0 et p, $A_p^{p_0}$ le coefficient moyen de compressibilité entre p et p_0.

Si l'on évalue les pressions en atmosphères, et si l'on fait $p = 0, p_0 = 1$, on a :

$$\varepsilon = A_0^1 \qquad \text{et} \qquad \delta = d\,(1 - A_0^1).$$

Tout revient à calculer le coefficient moyen de compressibilité A_0^1 entre 0 et 1 atmosphère.

Dans le cas des gaz dits permanents, les expériences de Regnault montrent que $A_p^{p_0}$ reste sensiblement constant pour des variations de pression égales à 4 ou 5 atmosphères. On peut admettre sans erreur sensible $A_0^1 = A_1^2$, ce dernier coefficient étant mesuré directement. Dans le cas des gaz facilement liquéfiables pour calculer A_0^1, il faut connaître la loi de compressibilité du gaz. Or la formule de Van der Waals non seulement représente bien l'allure générale du phénomène ; mais, si l'on détermine ses coefficients, de manière à représenter exactement une portion de la courbe de compressibilité, elle donne des valeurs numériques très bonnes pour les portions voisines.

Les données expérimentales nécessaires au calcul du poids moléculaire

d'un gaz sont : 1° sa densité normale ; 2° sa compressibilité au voisinage de la pression atmosphérique. Ces données ont été déterminées par Regnault pour les gaz H, Az, air (d'où l'on peut déduire O) et CO^2. Récemment les densités de ces gaz et de divers autres ont été l'objet de mesures encore plus précises et très concordantes faites par lord Rayleigh et par M. Leduc; et les compressibilités ont été étudiées par M. Amagat dans des limites très étendues, par MM. Leduc et Sacerdote au voisinage de la pression atmosphérique. L'auteur a spécialement utilisé les nombres de ces dernières observations.

Le tableau suivant donne : 1° les volumes moléculaires normaux des divers gaz, qui représentent les facteurs par lesquels il faut multiplier les densités normales pour passer aux densités limites; 2° leurs densités normales *d* rapportées à l'oxygène ; 3° leur poids moléculaire M, celui de l'oxygène étant pris égal à 32.

	H	Az	CO	O	CO^2
V_m	1,00046	0,99962	0,99954	0,99924	0,99326
d	0,062865	0,87508	0,87495	1	1,38324
M	2,01472	28,0132	28,0068	32	44,000

	Az^2O	HCl	C^2H^2	SO^2
V_m	0,99239	0,99210	0,99160	0,97642
d	1,38450	1,14836	0,81938	2,04835
M	44,000	36,485	26,020	64,050

Le poids atomique du carbone peut se déduire des densités limites de CO, de C^2H^2, ou de CO^2. On trouve ainsi des nombres compris entre 12,000 et 12,007. Le poids atomique de l'azote peut se déduire des densités limites de Az ou de Az^2O. On trouve ainsi 14,007 et 14,000. Enfin des densités limites de H, HCl et SO^2, on tire H = 1,0074, Cl = 35,478 et S = 32,050.

Toutes ces valeurs concordent bien avec celles que les chimistes ont trouvées dans leurs analyses pondérales. La méthode purement physique des densités limites pour la détermination des poids atomiques rivalise de précision avec les méthodes chimiques dans le cas où celles-ci sont directes, et l'emporte sur elles dans les cas (Az par exemple) où elles sont indirectes.

M. A. Leduc rappelle qu'il s'était proposé, il y a quelques années, de calculer les poids atomiques d'un certain nombre de corps par une méthode qui a une grande parenté avec celle de M. D. Berthelot. Mais il en a limité l'application à l'*azote* (pour lequel il a trouvé 14,005), parce que, malgré tout le soin qu'il avait apporté à la détermination des densités des gaz, un trop petit nombre de celles-ci lui paraissaient connues avec une précision suffisante pour cet objet: il n'y a guère que Az, CO, O et CO^2 dont la densité soit connue avec certitude à $\frac{1}{10000}$ près, et celle de C^2H^2 n'a été l'objet que d'une seule détermination.

D'autre part, M. Leduc fait remarquer que, pour éviter toute incertitude sur le principe, dans l'ignorance absolue où nous sommes des propriétés des gaz sous des pressions infiniment faibles, il conviendrait, ainsi qu'il l'a montré déjà, de comparer les gaz, non sous ces pressions très petites, égales entre elles, et à la même température, mais dans des *états correspondants*.

Si l'on amène chaque gaz à $\frac{1}{10000}$ de sa pression critique, par exemple à 0°, la correction ε calculée par M. Berthelot n'est pas sensiblement modifiée.

Si l'on admet, en outre, que, sous ces faibles pressions, le coefficient de dilatation de chaque gaz entre 0° et sa température correspondante est le même, on retombe sur les résultats de M. Berthelot.

Aucune expérience jusqu'à ce jour ne nous permet de nous faire une idée exacte de l'erreur apportée par cette hypothèse. La comparaison des nombres obtenus avec ceux que donnent les méthodes chimiques montre qu'elle n'affecte que très faiblement la quatrième décimale, déjà incertaine, des volumes moléculaires.

De l'emploi de la plaque voilée comme enregistreur. — M. A. Guébhard résume par voie d'énumération les diverses applications qu'il a faites depuis un an de l'emploi méthodique de la plaque photographique voilée pour l'enregistrement des phénomènes internes du bain révélateur.

A l'aide de positifs dus à l'obligeance de MM. Trutat et Yvon, il montre successivement en projection :

1° Les formes diverses de ségrégation moléculaire consécutives à l'abandon du liquide au repos sous faible épaisseur ;

2° Les figures d'afflux sur plaques préalablement mouillées ;

3° La reproduction directe des objets de faible relief, par simple apposition sur la gélatine ;

4° Les courants d'osmose interne qui se manifestent aux moindres brèches capillaires de toutes cloisons découpant dans le liquide des masses inégalement proportionnées à la surface à réduire ;

5° Les figures d'effluves, d'origine thermique, qui se dessinent sur une plaque mise face en bas, à fleur du liquide, si l'on produit, entre des points déterminés, des différences constantes de température ;

6° Les curieuses inversions polaires observables, soit, dans l'expérience précédente, sur une plaque parallèle opposée à l'autre, soit sur toute plaque, face en haut, soumise, par en dessous, à l'action des mêmes pôles ;

7° La preuve de l'origine purement mécanique de tous ces phénomènes, fournie par les figures identiques que produit la coordination des mouvements du liquide sous l'influence de pôles aspirateurs et inspirateurs, maintenant entre des points déterminés des différences constantes de potentiel hydrodynamique.

Incidemment, M. Guébhard signale quelques essais infructueux, mais à reprendre, qu'il a faits pour obtenir les figures vibratoires de M. Lechat ; quelques applications, pleines de promesses, à l'étude des courbes de capil-

larité, de la chute des gouttes, de la forme des veines liquides, etc., et il insiste sur l'utilité qu'il y aurait d'adapter la méthode à tous les cas où se caractérise une différenciation de l'homogénéité chimique ou physique dans les liquides.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est adopté.

Est élu membre de la Société :

M. A. PETIT, pharmacien de 1re classe, Licencié ès Sciences physiques, à Paris.

M. ALPHONSE BERGET présente à la Société le résultat des observations de M. A. STANOÏÉVITCH : *Sur les lignes de force et les surfaces équipotentielles dans les végétaux.*

L'étude des sections de différents végétaux, poursuivie pendant plusieurs années, a manifesté une identité absolue entre le diagramme des champs électriques et magnétiques et la structure des tiges végétales : la plante croît de façon que les couches d'accroissement aient la forme de surfaces équipotentielles ; orthogonalement à celles-ci existent des lignes de force ; la croissance des végétaux est donc une *force dirigée*, et, quand un arbre se fend, c'est toujours suivant une ligne de force, quelque complexe qu'en soit la forme.

M. Berget projette une série de photographies qui montrent, réalisées par des coupes d'arbres et de radis, presque tous les cas des diagrammes de champs électriques et magnétiques.

L'air liquide. — M. le Dr D'ARSONVAL présente à la Société 2 litres d'air liquide obtenus dans son laboratoire du Collège de France à l'aide d'une petite machine du professeur Linde, de Munich. M. d'Arsonval décrit cette machine en rappelant que son principe repose sur le refroidissement produit par la détente de l'air comprimé, conformément à la méthode qui a permis, en 1877, à M. Cailletet de liquéfier tous les gaz réputés permanents.

L'air liquéfié peut être conservé et manié, à la pression atmosphérique, dans des vases en verre à double paroi. Le vide de Crookes fait entre les deux parois constitue la protection la plus efficace contre le réchauffement.

M. d'Arsonval rappelle qu'il a décrit ces vases en 1887 et que, depuis cette époque, ils sont entre les mains des médecins pour maintenir à la pression atmosphérique le chlorure de méthyle à l'état liquide (Voy. *C. R. de la Société de Biologie*, 11 février 1888).

M. d'Arsonval passe en revue les principales applications de l'air

liquide faites à ce jour : extraction de l'oxygène de l'air; production des plus hautes et des plus basses températures connues; le charbon arrosé d'air liquide remplaçant les explosifs connus, etc...

M. d'Arsonval dit qu'il a étudié l'action de l'air liquide sur les microbes pathogènes et leurs produits solubles (toxine).

Cette action est presque nulle même après six jours de séjour des microbes dans l'air liquide.

M. d'Arsonval montre qu'on peut reconnaître les nouveaux gaz (argon, krypton, etc.), en observant au spectroscope les *bandes d'absorption* produites par l'air liquéfié graduellement évaporé.

M. Raveau ne pense pas qu'on puisse accepter sans réserves la théorie que M. Linde a donnée du fonctionnement de son appareil. Joule et Thomson laissaient l'air s'écouler lentement, le refroidissement était progressif; leur expérience ne détermine que l'état final atteint par l'air dans l'appareil de Linde quand il arrive dans les parties larges de la canalisation, où sa vitesse est faible. Mais le gaz, traversant le robinet pointeau, prend d'abord une force vive considérable, et sa température devient très basse; ce n'est qu'ensuite que la vitesse se ralentit et que la température se relève. D'autres expériences des deux physiciens anglais montrent que le refroidissement qui accompagne la détente brusque est beaucoup plus grand que l'effet résiduel qui subsiste quand la vitesse est amortie. On peut produire du froid, sans travail extérieur, par la détente d'un gaz dont l'énergie est fonction seulement de la température, à condition de lui laisser prendre de la force vive et de n'utiliser qu'une portion convenable du phénomène de détente; c'est probablement dans cette voie qu'il faut chercher l'explication complète du succès de l'expérience de M. Linde.

Sur la radiation des manchons à incandescence. — MM. Le Chatelier et Boudouard ont étudié la radiation des manchons à incandescence et reconnu que, pour expliquer leur rendement lumineux élevé, il n'y avait pas besoin d'invoquer aucun phénomène exceptionnel.

La *luminescence*, ou fluorescence à chaud, qui avait été mise en avant par M. Nichols dans une étude sur la radiation de l'oxyde de zinc, ne joue certainement aucun rôle. Le pouvoir émissif des manchons est, en effet, pour toutes les radiations et toutes les températures, inférieur à l'unité. Il est seulement plus grand dans le violet que dans le vert, et dans le vert que dans le rouge. Il est sans doute extrêmement faible dans l'infra-rouge. Les manchons sont constitués par une matière à pouvoir émissif variable avec la longueur d'onde, ce qui est le propre de tous les corps colorés.

La *température* du manchon n'est pas, comme le pense M. Bunte, extraordinairement élevée et supérieure à 2000°; elle est, en réalité, comprise entre 1600 et 1700°, comme l'est la température des particules de charbon en suspension dans la flamme ordinaire du gaz.

Enfin le rendement lumineux n'est pas dû, comme le pense M. S. John,

à un pouvoir émissif particulièrement élevé. Les pouvoirs émissifs moyens sont plus avantageux.

En résumé, la seule cause du rendement lumineux des manchons Auer résulte de la faiblesse de leur pouvoir émissif dans la région calorifique du spectre.

Ces manchons sont essentiellement composés de deux corps : l'oxyde de thorium 99 0/0 et l'oxyde de cérium 1 0/0 qui, pris isolément, ont un rendement lumineux plus faible. Le mélange des deux corps donne un rendement supérieur à la moyenne, parce que ce n'est pas un mélange mécanique, une simple juxtaposition, mais un mélange chimique homogène (isomorphisme ou dissolution solide). Dans ce cas les pouvoirs absorbants et, par suite, les pouvoirs émissifs ne sont pas la moyenne arithmétique de ceux des éléments constituants. Les mélanges de $FeCl^3$ et AzH^4Cl sont un exemple connu de ce fait.

SÉANCE DU 15 JUILLET 1898.

Présidence de M. René Benoît.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet est lu et adopté.

M. le Secrétaire général annonce que, dans sa dernière réunion, le Conseil a décidé que la Société de Physique prendrait, à l'occasion de l'Exposition universelle de 1900, l'initiative d'un *Congrès international de Physique*.

M. le Président fait part à la Société de l'envoi d'une lettre de M. Gauthier-Villars l'informant qu'un généreux anonyme a soldé chez lui la somme de 11.850 francs, représentant le montant des frais relatifs à la publication du premier volume du *Recueil des données numériques*. La Société adresse des remerciements unanimes au généreux donateur qui a bien voulu s'intéresser d'une manière aussi efficace à la publication de ce recueil, impatiemment attendu par tous les Physiciens. (*Vifs applaudissements.*)

Variation diurne de l'électricité atmosphérique. — M. Chauveau communique à la Société quelques résultats des recherches qu'il poursuit depuis plusieurs années au Bureau central météorologique et au sommet de la Tour Eiffel sur la variation diurne de l'électricité atmosphérique.

1° Au Bureau central, pour l'ensemble de l'année, on retrouve assez nettement la loi de variation généralement admise, c'est-à-dire une oscillation double avec deux maxima (de 6 heures à 8 heures du soir,

suivant la saison, et de 7 heures à 10 heures du matin) et deux minima, l'un dans l'après-midi, l'autre pendant la nuit. L'heure de ce dernier varie peu et reste comprise entre $3^h,30$ et $4^h,30$ du matin.

2° Mais l'allure de cette variation, considérée d'une part pendant la saison froide, de l'autre pendant la saison chaude, présente deux types très différents.

Pendant l'été, le minimum correspondant aux heures chaudes du jour s'exagère et l'emporte de beaucoup sur le minimum de nuit; celui-ci néanmoins reste accentué, de telle sorte que la double oscillation apparaît très nette. En hiver, le minimum de jour est peu accusé; le maximum du matin se dessine à peine, et l'allure générale de la variation se rapproche d'une oscillation simple, avec un maximum de jour et un minimum de nuit.

3° La variation diurne observée au sommet de la Tour Eiffel pendant les mois d'été est entièrement différente de la variation correspondante au voisinage du sol. L'oscillation est sensiblement simple, avec un maximum de jour et un minimum de nuit, et *présente la plus grande analogie avec la variation près du sol pendant l'hiver.*

Ces résultats, rapprochés du fait bien connu de la diminution du potentiel diurne moyen pendant la saison chaude, de son accroissement pendant la saison froide, concordent remarquablement avec les idées émises par Peltier sur l'électrisation négative des vapeurs qui, s'élevant du sol, diminuent d'autant plus le potentiel observé près de sa surface que leur masse est plus grande au-dessus du point d'observation.

4° Quant à la détermination précise de la loi de la variation diurne, la remarque suivante paraît enlever toute valeur aux observations faites à l'intérieur d'une ville : *La variation diurne observée au Collège de France n'est pas la même que celle qui a été constatée au Bureau central.*

Les observations faites simultanément en ces deux points ne peuvent laisser aucun doute à ce sujet. Pendant l'été notamment, le caractère de la variation au Collège de France est absolument spécial et diffère de tous les résultats obtenus jusqu'ici. L'oscillation, dans son ensemble, est simple avec un minimum de jour et un maximum de nuit; le maximum du matin n'existe pas. C'est, en quelque sorte, l'exagération du régime d'été, dans son opposition avec le régime d'hiver indiqué plus haut.

La différence d'allure entre les deux variations est moins sensible pendant l'hiver, et le minimum de nuit s'accuse alors au Collège de France comme au Bureau central.

5° Pour être assuré de se soustraire à des influences locales dont l'effet peut être aussi grand, il semble nécessaire d'observer en pleine campagne, dans un endroit bien découvert.

Un enregistreur a été récemment installé à Trappes, à l'Observatoire de Météorologie dynamique fondé par M. Teisserenc de Bort. Le réservoir à écoulement est situé au sommet d'un pylône en bois de 20 mètres de hauteur. La situation semblait exceptionnellement bonne; malheureuse-

ment le passage de trains très nombreux sur la ligne de l'Ouest, distante d'environ 300 mètres, apporte dans les mesures de graves perturbations par les fumées et les jets de vapeurs électrisées que les machines jettent en passant dans l'atmosphère.

M. Pellat insiste sur l'intérêt des expériences faites à Trappes par M. Chauveau et, en particulier, sur l'observation de l'influence des fumées et vapeurs du chemin de fer sur le régime de l'électricité atmosphérique. Le phénomène d'Armstrong ainsi observé en grand fournirait sans doute une explication très vraisemblable des différences considérables que l'on trouve souvent pour les variations du potentiel de l'atmosphère, même dans des lieux d'observation peu éloignés l'un de l'autre.

M. Lemoine rappelle que des observations nombreuses et suivies sur l'électricité atmosphérique ont été faites à l'Observatoire de Perpignan. Etant donnée la situation très favorable de cet établissement pour des études de ce genre, il pense que l'ensemble des résultats qui y ont été obtenus se voit, en grande partie, exempte des reproches faits par M. Chauveau aux documents fournis, sur le même sujet, par la plupart des autres observatoires.

M. Chauveau répond que, sans être absolument à l'abri de toute critique, la série des observations faites à Perpignan est une des meilleures. Mais la différence entre les régimes d'été et d'hiver y est moins accusée qu'à Paris. Il y a là, d'ailleurs, un fait général : cette différence s'atténue à mesure qu'on va vers des régions plus uniformément chaudes où les écarts de température entre l'été et l'hiver sont moins accusés.

Nouvelle méthode pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur, par MM. Baille et Fery. — On s'est ingénié, afin de montrer la constance du nombre représentant l'équivalent mécanique de la calorie, à multiplier les méthodes permettant de déterminer ce rapport.

Les champs tournants, obtenus si aisément par la superposition de deux ou plusieurs courants alternatifs ayant une différence de phase convenable, nous ont semblé présenter un certain nombre d'avantages pour mesurer quelques constantes physiques et, en particulier, l'équivalent mécanique de la calorie. Cette méthode pourra en effet être appliquée chaque fois qu'il sera nécessaire de produire un déplacement relatif rapide entre un champ magnétique et des masses conductrices fermées sur elles-mêmes.

L'appareil que nous avons réalisé pour déterminer E se compose essentiellement d'un cylindre de cuivre rouge placé au centre d'un anneau recevant les courants biphasés d'une petite machine Gramme alternative dite « auto-excitatrice ».

Le cylindre de cuivre est fixé à l'extrémité du fléau d'une balance très sensible, son axe parallèle au couteau. Dans ces conditions, le couple auquel est soumis le cylindre métallique est mesuré par les poids qu'il

faut placer ou retirer du plateau, fixé à l'autre extrémité du fléau, pour rétablir l'équilibre.

Une double enveloppe parcourue par un courant d'eau rapide évite le rayonnement de l'anneau sur le cylindre en réalisant une enceinte à température constante.

De cette manière la correction de refroidissement se fait dans d'excellentes conditions, toutes les pièces de l'appareil étant immobiles. La température du cylindre est connue à chaque instant par un thermomètre ajusté dans sa masse, et celle de l'enceinte par la température de l'eau à la sortie, température qui n'a jamais été supérieure à plus de 0°,1 à celle de l'entrée.

La conduite de l'expérience est très simple : la balance étant en équilibre, on lance le courant; pour retrouver l'horizontalité du fléau, il faut ajouter ou retrancher (suivant le sens de la rotation du champ) un poids p dans la balance. Le moment du couple est donc $p \times l$, en désignant par l la distance entre le couteau central de la balance et celui qui porte le plateau ; quant au travail, il sera $W = 2\pi nplt$, si n est le nombre de tours effectués par unité de temps.

On observe, d'autre part, que le thermomètre s'est élevé de θ_1 à θ_2 pendant *ce même temps* t, et que, pour se refroidir entre les mêmes limites de température, il met un temps t'.

La perte par rayonnement pendant le temps t est donc :

$$\frac{t \times \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)}{t'}.$$

L'élévation vraie est dans ces conditions :

$$(\theta_2 - \theta_1) + \frac{t}{t'}\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) = \Theta,$$

et la quantité de chaleur développée :

$$Q = PC\Theta;$$

ce qui donne :

$$E = \frac{W}{Q} = \frac{2\pi nplt}{PC\Theta}.$$

Les intervalles t et t' doivent être pris assez petits pour que la marche du thermomètre puisse être considérée comme linéaire entre ces limites.

Les erreurs se sont élevées à 1 0/0 avec cet appareil d'essai; nous espérons que les modifications de détails qui nous sont dictées par ces premières expériences permettront d'augmenter considérablement la précision.

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1898.

PRÉSIDENCE DE M. RENÉ BENOÎT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 15 juillet est lu et adopté.

M. LE PRÉSIDENT annonce les pertes regrettables que la Société a faites pendant les vacances.

MESSIEURS,

En rouvrant nos séances, après trois mois de séparation, j'ai le profond regret de devoir commencer par vous faire part de la perte de quatre de nos collègues, décédés pendant cette période : MM. *Alvergniat*, *Boucher*, *Brisse* et *de Méritens*.

Le nom de M. Alvergniat était universellement connu, dans le monde scientifique ; mais, nulle part mieux que parmi nous, les services qu'il rendit à toute une génération de physiciens et de chimistes ne sauraient être appréciés à leur juste valeur. Par l'extraordinaire habilité de sa construction, qui semblait se jouer des difficultés parfois les plus invraisemblables dans le travail du verre et était toujours prête à nous fournir des ressources imprévues, par son ingéniosité, qui lui avait permis d'imaginer, de modifier, de transformer heureusement un grand nombre d'appareils, M. Alvergniat fut souvent, pour les expérimentateurs de son temps, un véritable et précieux collaborateur, et ils conserveront à sa mémoire un souvenir reconnaissant.

M. Alvergniat était chevalier de la Légion d'honneur et avait reçu de nombreuses récompenses aux diverses Expositions universelles.

M. Charles Boucher avait rempli pendant plus d'un quart de siècle les fonctions de préfet des études au collège Chaptal. Dévoué à sa tâche, il lui avait donné tout son cœur et toute son intelligence, et, sollicité à diverses reprises de prendre la direction, il avait longtemps décliné ces propositions, préférant rester au second rang, à un poste dans lequel il estimait pouvoir rendre plus de services. C'est seulement cette année, peu de mois avant de nous avoir été enlevé, qu'il avait consenti à être à l'honneur après avoir été à la peine, et à accepter le titre et les fonctions de directeur du collège Chaptal. Dans sa longue carrière, son influence s'est exercée d'une façon utile, et, si le collège Chaptal a été, comme on le sait, le berceau d'un certain nombre de réformes dans l'enseignement, c'est, pour une part importante, à son action discrète et persévérante qu'il l'a dû. La mémoire de M. Boucher reste accompagnée des regrets sincères de tous les anciens élèves du collège, de ses collègues et de ses collabo-

rateurs, dont il avait su conquérir l'affection, en même temps que l'estime respectueuse de ses subordonnés.

M. Boucher était ancien élève de l'École polytechnique et chevalier de la Légion d'honneur.

M. Charles Brisse était également un élève de l'École polytechnique; entré avec le 19e rang, il en était sorti ingénieur des Télégraphes.

Presque aussitôt démissionnaire, il entra, comme directeur des ateliers, dans la maison Gauthier-Villars, où il resta pendant les trois années 1870-71-72. C'est pendant cette période qu'il s'associa avec Charles d'Almeida pour la fondation du *Journal de Physique*, dont il a rempli jusqu'à ces derniers temps les fonctions d'administrateur. Déjà, cependant, M. Brisse avait marqué sa place dans l'enseignement des mathématiques, auquel il devait bientôt se vouer presque exclusivement et consacrer la plus grande partie de sa carrière. Professeur de géométrie descriptive, d'abord au collège Stanislas, puis au lycée Charlemagne, il entra en 1872 au lycée Condorcet, où il enseigna les mathématiques spéciales jusqu'en 1896, c'est-à-dire pendant une période de vingt-quatre ans. En même temps il était répétiteur de géométrie descriptive et de stéréotomie à l'Ecole polytechnique, et professeur de mathématiques à l'Ecole des Beaux-Arts. Plus récemment, en 1888, il était devenu professeur à l'Ecole Centrale et professeur suppléant au Conservatoire des Arts et Métiers.

Ces devoirs professionnels n'absorbaient pas toute son activité. Depuis 1863, date de son entrée à l'Ecole, jusqu'à ces dernières années, il a publié un nombre considérable de notes ou de mémoires sur diverses questions de mathématiques, qui ont été insérés dans le *Journal de Liouville*, dans les *Annales de l'Ecole normale supérieure*, dans le *Journal des Actuaires français*, dans le *Journal de l'Ecole polytechnique*, dans le *Bulletin de la Société mathématique de France*, enfin dans les *Nouvelles Annales de mathématiques*. M. Brisse était l'un des deux rédacteurs de cette dernière publication, et il a mis au jour, en cette qualité, vingt-six volumes depuis 1872.

En même temps M. Brisse avait publié un certain nombre d'ouvrages d'enseignement : divers *Cours de Géométrie descriptive*, un *Cours de Mécanique*, un *Traité de la coupe des pierres* (en collaboration avec M. Rouché), etc. Je signalerai en particulier un *Cours de Physique à l'usage des élèves de mathématiques spéciales*, dont la première édition fut faite en collaboration avec M. André, et la seconde avec M. Rivière.

M. Brisse avait été l'un des membres fondateurs de la Société de Physique ; il avait été également fondateur et secrétaire de la Société mathématique.

En 1896, M. Brisse fut, après une carrière si bien remplie, admis à la retraite et nommé professeur honoraire de 1re classe de l'Université. Il était chevalier de la Légion d'honneur et avait reçu, lors de l'Exposition de 1889, une médaille d'argent grand module, comme administrateur du *Journal de Physique*.

Enfin, Messieurs, je n'ai pas, sans doute, à vous apprendre les conditions particulièrement douloureuses et affligeantes dans lesquelles s'est produite la mort de M. de Méritens. C'est lui-même, vous le savez, qui, par un acte de désespoir inspiré par des soucis matériels et des embarras pécuniaires, a volontairement mis fin à ses jours. M. de Méritens s'était pourtant fait connaître, depuis longtemps, comme inventeur et constructeur. C'est lui, notamment, qui créa la machine à courant continu pour l'éclairage des phares, qui fut expérimentée pour la première fois en 1881, au phare du Planier, et qui est encore aujourd'hui employée dans plusieurs des phares de France. Il s'est également occupé de l'éclairage des villes. On ne peut qu'être douloureusement ému en présence d'un si triste dénouement à une existence laborieuse et utile.

Vous vous associerez tous, Messieurs, aux regrets que j'exprime ici pour la perte, et aux hommages que je rends à la mémoire de ces collègues, qui, dans différentes voies et à des titres divers, ont servi la science et honoré notre Société de Physique.

M. le Président annonce, en outre, qu'il vient de recevoir encore, au moment de l'ouverture de la séance, communication de la mort d'un autre de nos collègues, M. *Ch. Martin* (de Chartres), qui était l'un des membres les plus anciens de la Société : cette nouvelle nous est transmise par une lettre émanant de la Préfecture de la Seine, qui nous informe en même temps que M. Ch. Martin a légué, par testament, à la Société de Physique, une somme de mille francs. Il se fait l'interprète de la Société, en exprimant sa reconnaissance pour la mémoire de ce généreux donateur.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, annonçant que le 37e Congrès des Sociétés savantes aura lieu, en 1899, à Toulouse, durant la semaine de Pâques.

Le R. P. Dechevrens adresse à M. le Secrétaire général une lettre dans laquelle il réclame la priorité pour le principe d'une méthode d'analyse des courbes périodiques, attribuée par M. G. Weiss à M. Ludimar Hermann [1].

Après lecture de la communication faite par le P. Dechevrens à l'Académie des Sciences en 1890, M. G. Weiss ne peut y trouver, même en germe, la méthode de Hermann. M. G. Weiss se sera sans doute mal exprimé dans sa note à la Société de Physique et prie le R. P. Dechevrens de se reporter à un article paru dans la *Revue des Sciences pures et appliquées* du 15 septembre 1898.

Sur les anomalies de l'eau. — M. Ch.-Ed. Guillaume rend compte des expériences de M. Rowland et de M. Griffiths sur la détermination de la

---

[1] Voir séance du 18 juin 1897, p. 84.

chaleur spécifique de l'eau. Les résultats donnés par ces deux physiciens sont demeurés discordants aussi longtemps que les températures mesurées par M. Rowland restèrent exprimées en fonction de l'échelle thermométrique qu'il avait adoptée. Mais, après que ses thermomètres eurent été comparés, par M. Ames et M. Day, aux étalons fournis par le Bureau international des Poids et Mesures, la réduction des observations de M. Rowland les fit concorder parfaitement avec celles de M. Griffiths.

La chaleur spécifique de l'eau diminue jusque vers 30°, et cette anomalie, ajoutée aux autres, conduit à admettre que l'eau possède une constitution particulière. M. Röntgen avait fait rentrer toutes ces anomalies dans l'idée que l'eau est, jusqu'à une certaine température, une solution de glace. La diminution du volume spécifique entre 0° et 4°, l'augmentation de la fluidité avec la pression, la diminution de la compressibilité, lorsque la température s'élève, s'accordent avec l'idée de M. Röntgen. La variation de la chaleur spécifique est dans le sens prévu par cette théorie. Mais elle paraît trop faible pour que la fusion de la glace dissoute puisse en rendre compte.

Les mêmes phénomènes semblent s'expliquer mieux par la théorie émise par M. Ramsay, suivant laquelle les molécules de l'eau et des liquides contenant le groupe OH sont associées en nombre variable, la formation et la rupture des groupes ayant lieu sans phénomènes thermiques intenses. S'il en est ainsi, les efforts qui retiennent ensemble les diverses molécules d'un groupe sont eux-mêmes peu intenses, et la période de vibration d'un de ces groupes, considéré comme un complexe élastique, doit être assez longue. Les groupes moléculaires devraient, dès lors, vibrer à l'unisson des ondes de longue période et les absorber. On s'expliquerait ainsi l'anomalie électrique de l'eau, son pouvoir absorbant pour les ondes électriques, son indice très élevé pour ces ondes, etc.

La variabilité des groupes rendrait compte aussi de la grande diffusion de la bande d'absorption ainsi que de la variation du pouvoir inducteur spécifique de l'eau avec la fréquence et avec la température.

Interrupteur électromagnétique à mercure. — M. P. Villard présente un interrupteur à mercure dans lequel le mouvement est produit par l'action d'un aimant permanent sur le courant à interrompre. Une tige en cuivre peut vibrer sous l'action d'une lame élastique faisant ressort de torsion ; elle porte une pointe en nickel qui plonge à chaque oscillation dans un godet à mercure, établissant et rompant ainsi périodiquement le courant. Cette tige passe entre les branches d'un aimant convenablement orienté dont le champ tend à la soulever dès que le contact a lieu avec le mercure. Il en résulte qu'à chaque oscillation la pièce mobile reçoit une impulsion qui entretient son mouvement avec une amplitude suffisante.

La fréquence peut être réduite à volonté par l'adjonction d'une masse supplémentaire.

Cet interrupteur, destiné à s'adapter aux bobines de Ruhmkorff, fonctionne régulièrement avec des courants d'intensités très différentes, et

même si la bobine n'est excitée que par un seul accumulateur. L'expérience est faite devant la Société.

Cet appareil est d'une construction très simple ; il n'exige pas l'emploi d'une batterie auxiliaire ou d'un courant dérivé ; le travail dépensé, facile à calculer, est négligeable, et la self-induction peut être considérée comme nulle.

Stéréoscopie radiographique. — M. Chabaud présente à la Société le résultat d'expériences radiographiques qu'il a réalisées avec le tube à osmo-régulateur et l'interrupteur à mercure de M. Villard, relié à une bobine de petites dimensions ne fournissant, avec son trembleur rapide de Marcel-Deprez, qu'une étincelle de 12 centimètres. Avec ce faible matériel, M. Chabaud a obtenu de très bonnes photographies des différentes parties du corps humain en appliquant les temps de pose suivants : Tête, 2 à 5 minutes ; — Bassin d'adulte, 2 à 5 minutes ; — Thorax d'adulte, 10 à 30 secondes ; — Genou et cuisse, 30 secondes ; — Pied pour la partie la plus épaisse, 10 secondes ; — Bras, 10 à 15 secondes ; — Main, 5 à 10 secondes.

M. Chabaud fait ressortir que ces résultats ne sont possibles que parce que le tube à osmo-régulateur peut être amené à un état de résistance déterminé et maintenu aussi longtemps qu'on veut dans cet état.

La rapidité avec laquelle deux épreuves peuvent être obtenues rend possible l'application de la stéréoscopie aux parties les plus épaisses du corps humain.

M. Chabaud présente à la Société un appareil qu'il a construit pour la prise des épreuves stéréoscopiques et un appareil permettant l'examen direct des clichés négatifs, aussitôt après leur développement.

Application des prismes de Porro dans les lunettes. — M. Bordé présente à la Société deux lorgnettes avec application des prismes de Porro. La première, construite par Hoffmann il y a vingt ans, et servant à prendre les distances. La deuxième, construite par Huet, permettant de mettre au point et à l'écartement pupillaire par un procédé indécentrable. Les bonnettes permettent l'adjonction d'un verre cylindrique servant à corriger l'astigmatisme oculaire. Ces instruments sont démontables sans l'aide d'aucun outil.

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1898.

Présidence de M. René Benoît.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 novembre est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. Fouché, Directeur de la Société de l'Acétylène dissous, à Paris.

M. le Président annonce la mort subite de M. *Lechat*, professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand, docteur ès sciences, l'un des assistants les plus fidèles de nos Séances.

Méthode de contrôle de l'orientation des faces polies d'un quartz épais normal à l'axe. — M. Donnier signale et démontre deux particularités, susceptibles d'applications, qui se produisent dans le spectre obtenu avec de la lumière parallèle ayant traversé un quartz épais placé entre deux nicols.

1° Si le polariseur et l'analyseur sont croisés, les cannelures se déplacent vers le rouge sans rien perdre de leur netteté, lorsqu'on grandit l'angle de l'axe du cristal avec la direction du faisceau lumineux; tout se passe comme s'il y avait augmentation du pouvoir rotatoire. Pour contrôler l'orientation des faces polies et normales à l'axe d'un quartz, on dispose ces faces normalement au faisceau des rayons incidents parallèles, entre *le polariseur et l'analyseur croisés à l'extinction ;* une même inclinaison du quartz de part et d'autre de cette direction doit correspondre sur le fil du réticule de la lunette du spectroscope au passage du même nombre de franges ;

2° La section principale de l'analyseur perpendiculaire à la section principale du polariseur n'est pas la seule direction de l'analyseur donnant des franges nettes dans toute l'étendue du spectre. La netteté des cannelures se maintient dans toute l'étendue du spectre, lorsque la direction principale de l'analyseur est normale ou symétrique de la direction principale du polariseur par rapport au plan défini par la direction du faisceau lumineux et par l'axe du cristal. Cette position de l'analyseur définit l'orientation de l'axe du cristal par rapport à la direction de la propagation de la lumière. Une fois cette orientation déterminée, il est possible, en appliquant les dispositifs précédents et faisant tourner le cristal autour de la normale au plan de l'axe et de la perpendiculaire à la face d'entrée, de déterminer l'angle de ces deux directions.

Transformateur électrique Wydts-Rochefort.—Interrupteurs.— M. O. Rochefort présente un type puissant des transformateurs qu'il a montré à la Société, le 6 mai dernier, type qui donne 45 centimètres d'étincelle avec 12 volts et 6 ampères.

Il rend compte des transformateurs dissymétriques qu'il construit et qui peuvent avoir leur pôle à faible tension mis à la terre sans diminuer la longueur d'étincelle. Il montre les accouplements des primaires et des secondaires de ces transformateurs, en quantité et en tension.

Interrupteur rotatif à mercure. — Cet interrupteur rotatif a un moteur électrique bas et stable muni d'un rhéostat pour régler sa vitesse.

La tige de cuivre rouge plongeant dans le mercure est à l'extrémité d'un support en aluminium. Ce support coulisse sur deux glissières en acier et est commandé par bielle et manivelle l'attaquant par le milieu.

La hauteur du godet à mercure est réglable en marche. Le moteur fonctionne en dérivation sur le circuit primaire et par source séparée ; sa vitesse n'est pas influencée par le débit du transformateur. La dépense est de 0,8 ampère sous 6 volts.

Interrupteur rotatif à contact métallique cuivre sur cuivre. — Le moteur est le même que le précédent et est muni du même rhéostat. Un contact en cuivre rouge est vissé à l'extrémité d'une tige d'acier verticale. Un ressort à boudin fait effort au repos pour donner le contact. La tige est guidée par deux glissières fixes. Un canon mobile commandé par la bielle du moteur glisse le long de la tige et vient rencontrer un arrêt circulaire fixé à cette tige.

La durée du contact pendant le temps d'une rotation est réglée à volonté en faisant monter le godet qui supporte la plaque de cuivre rouge sur laquelle pose l'extrémité de la tige portant le contact.

Interrupteur à mouvement rectiligne platine-mercure. — Cet interrupteur, du genre Foucault, permet d'obtenir, avec une course dépassant 1 centimètre et demi, des interruptions extrêmement rapides.

Le mouvement de la tige dans le liquide (mercure surmonté de pétrole) est un mouvement vertical, et la tige, reliée par un flexible au fléau oscillant, est guidée par le liquide lui-même, ce qui empêche les projections.

La partie motrice se compose d'un électro-aimant vertical, au-dessus duquel une armature en fer doux peut osciller; elle est reliée à une colonne verticale par un ressort plat.

Une pince serre l'un contre l'autre deux contacts en platine.

Une vis moletée en cuivre à grande hauteur de filets, au-dessous de la tête de laquelle le ressort de la pince vient buter, permet de diminuer ou augmenter la durée du passage du courant dans les électros et, par suite, de régler l'amplitude de l'oscillation en marche.

Pour faire varier la durée, il suffit de changer, sur la tige ronde fixée au-dessus de l'armature, la position du poids qui glisse sur elle.

Ce trembleur ne dépense que 3/10 d'ampère sous 6 volts.

Il peut se placer sur le secteur, au moyen d'une disposition imaginée par le constructeur, et qui consiste à prendre des dérivations sur le rhéostat du primaire (dérivations qu'on peut changer pendant la marche), ce qui donne un règlement en marche de la vitesse du moteur.

Modèle de galvanomètre à cadre pour usines. — M. Le Chatelier présente un nouveau modèle de galvanomètre à cadre, dans lequel les lectures se font sur un cadran parcouru par une aiguille mobile. Le cadre est librement suspendu, ce qui a l'avantage d'éviter les déplacements du zéro résultant des variations d'inclinaison de l'appareil et d'empêcher les mouvements vibratoires sous l'action des trépidations transmises par le sol.

Courbes figuratives de l'intensité et de la force électromotrice d'un courant alternatif, dans diverses conditions, obtenues par M. Blondel. — M. A. Broca présente, au nom de M. A. Blondel, des épreuves photographiques représentant les courbes figuratives de l'intensité et de la force électromotrice d'un courant alternatif, dans diverses conditions.

Ces courbes ont été obtenues au moyen d'un nouvel oscillographe double, amenant en un même point les deux images issues d'un point lumineux et produites par le miroir d'un ampèremètre et celui d'un voltmètre. L'enregistrement se fait sur place fixe, ou l'observation se fait à l'œil directement par le procédé suivant : La source lumineuse est un point mobile qui décrit pendant une période du courant un élément fixe de droite perpendiculaire au plan commun de réflexion moyen des oscillographes.

Ce résultat est obtenu de la façon suivante : Une fente fixe verticale est éclairée par derrière. Devant celle-ci se meut un disque portant une fente horizontale quand elle est dans le plan horizontal du miroir.

Les deux fentes délimitent un trou. Le disque est entraîné par un moteur synchrone à 24 pôles, de manière à ce que la fente, mobile en se déplaçant, fasse parcourir au point lumineux la hauteur de la fente fixe en une période du courant.

Les courbes obtenues montrent essentiellement l'utilité de la self-induction dans les résistances additionnelles, et des mèches tendues pour les charbons. Dans ce cas on évite les moments d'extinction de l'arc, qui sont très nuisibles au point de vue du rendement lumineux.

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1898.

Présidence de M. René Benoît.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Perrier (Georges), lieutenant au 13e régiment d'artillerie, à Vincennes ;
Sagnac, préparateur de physique à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le Président communique à la Société la perte regrettable qu'elle vient encore de faire dans la personne de M. *Jules-Nicolas Raffard*, ingénieur, décédé le 1er novembre dernier, à l'âge de soixante-quatorze ans. Ancien élève de l'Ecole d'Arts et Métiers d'Angers, M. Raffard était remarquable par l'ingéniosité de son esprit, qui s'exerça sur un grand nombre de questions de mécanique et de physique et le conduisit à créer des procédés de fabrication, des appareils, des inventions diverses, dont le

nombre, à la fin de sa longue carrière, atteignait près d'une centaine. Je rappellerai seulement, parmi les plus utiles, son manchon d'accouplement élastique dans les transmissions, son frein dynamométrique, son régulateur à double action, son obturateur à mouvement louvoyant, etc. En 1881, il fit construire la première voiture à accumulateurs qui ait circulé sur rails et fut ainsi un initiateur dans la question de la locomotion électrique.

M. de Rey-Pailhade adresse à M. le Président un tableau de quelques coefficients, calculés en prenant pour unité physique de temps le *centmillième* de jour et un tableau comparatif des nombres des vibrations des notes de la gamme.

M. Blondel adresse également à M. le Président une lettre dans laquelle il fait un historique rapide de la télégraphie sans fil et rappelle le rôle capital joué dans cette invention par Lodge et Marconi. Lodge a, le premier, utilisé, dans ce but, les tubes à limaille de Branly. Marconi leur a donné la grande sensibilité nécessaire à ces expériences.

M. Guillaume dépose sur le bureau une lettre de M. de Heen, de Liège, dans laquelle ce physicien fait remarquer qu'il a, le premier, en 1879, cherché à expliquer les anomalies de l'eau par le degré de polymérisation de la molécule variable avec la température. (Voir *Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2e série, t. XLV, et *Mémoires couronnés et autres Mémoires*, t. XXXI, de cette Académie.)

Sur un trembleur rotatif très rapide de M. le Dr Guilloz. — M. A. Broca communique, au nom de M le Dr Guilloz, la description d'un *trembleur rotatif très rapide*. L'extrémité de l'axe d'une petite dynamo tournant de 2.000 à 2.200 tours porte un disque de cuivre isolé de l'axe par un cylindre d'ébonite, qui lui est concentrique. Un balai sert de prise de courant en frottant sur un anneau de cuivre brasé concentriquement sur le disque du côté de la dynamo.

L'autre face du disque porte une tige coudée, sorte de vilebrequin, dont l'autre extrémité tourne dans un pivot fixe. Les sommets de cette tige coudée, projetés sur le disque, déterminent les sommets d'un polygone régulier centré sur l'axe de la dynamo. Ces sommets servent de tête à des bielles de cuivre articulées, dont la dernière vient, quand elle est au bas de sa course, plonger dans du mercure servant de seconde prise au courant et recouvert d'une couche d'eau. Les tiges tricotent donc avec la même différence de phase.

En donnant un grand rayon au bras du vilebrequin, ce qui est mécaniquement facile, malgré la grande vitesse, en choisissant convenablement la largeur des bielles, on arrive à restreindre la durée du contact.

Dans ce trembleur composé de trois tiges, que M. Guilloz utilise depuis deux ans, la course maximum est de 5 centimètres; il y a 100 interrup-

tions à la seconde et une durée de contact qui peut être réduite à moins de $\frac{1}{750}$ de seconde.

L'autre axe de la dynamo peut porter le même système décalé de 90 degrés, ce qui double le nombre des interruptions.

Enfin la robustesse de ce trembleur montre que, pratiquement, on pourrait augmenter encore le nombre des tiges et la longueur des bras du vilebrequin.

De l'endodiascopie et d'un nouveau mode de fonctionnement des tubes de Crookes; par M. Foveau de Courmelles. — L'auteur rapporte diverses recherches, dont les siennes, dans le but de diminuer l'épaisseur qu'ont à traverser les rayons X, quand il s'agit de l'organisme humain, de pellicules placées dans la bouche ou les autres cavités et ainsi impressionnées, puis des tubes de Crookes eux-mêmes introduits dans ces cavités, grâce à leur innocuité, par la machine statique bipolaire (L. Bouchacourt), puis unipolaire (Rémond et Noé).

M. Rémond ayant ensuite obtenu les mêmes résultats avec une petite bobine de $0^m,10$ d'étincelle, au moyen d'un dispositif qu'il a imaginé, MM. Rémond, Bouchacourt et Foveau de Courmelles l'appliquèrent avec un succès identique à toutes les bobines, de $0^m,50$ d'étincelle notamment, actionnées par le secteur. L'absence complète d'atmosphère électrique perceptible et, par suite, de sensation pour le sujet est remarquable. Elle s'obtient régulièrement par la mise au sol de l'ampoule de Crookes au moyen d'une bague reliée à l'anode et voisine de la cathode. Celle-ci est séparée du pôle négatif de la bobine par un détonateur. L'anode de l'ampoule reliée au sol est également séparée du pôle positif du courant secondaire par un double détonateur. L'un des pôles du primaire, quand il s'agit d'accumulateurs, doit être mis au sol. La compagnie d'Edison ayant un pôle à la terre rend inutile cette précaution.

D'autres résultats physiques, intéressants, sont d'obtenir une plus longue durée de fonctionnement de l'ampoule que par la machine statique, voire de rendre utilisables les ampoules déjà abîmées. En outre, le passage de l'ampoule de l'état de tube de Geissler à lumière stratifiée à la source génératrice de rayons X peut se faire progressivement, et ainsi permettre d'assister en quelque sorte à la genèse des rayons X.

MM. Rémond et Foveau de Courmelles montrent ces expériences à la Société et des radiographies crâniennes obtenues par le Dr Bouchacourt au moyen de ce procédé endodiascopique avec la machine statique.

Sur les anomalies des aciers au nickel et les causes des déformations résiduelles. — M. Ch.-Ed. Guillaume décrit quelques propriétés nouvelles des aciers au nickel. Les aciers irréversibles, contenant 0 à 25 0/0 environ de nickel, peuvent exister sous deux états distincts, entre des limites de température écartées, suivant le cycle des températures qu'ils ont traversées.

Ces aciers perdent leurs propriétés magnétiques entre le rouge naissant et le rouge cerise et les reprennent entre des températures d'autant plus basses qu'ils contiennent plus de nickel. Vers 24 0/0 de nickel, le magnétisme ne reparaît qu'au-dessous de zéro. Les alliages de cette teneur peuvent donc exister sous deux états, dans un intervalle de température supérieur à 500 degrés.

En même temps que le magnétisme apparaît, l'alliage augmente de volume, tandis que son module d'élasticité diminue. Si, après l'avoir refroidi une certaine quantité, on réchauffe l'alliage, il conserve des propriétés intermédiaires qu'il avait acquises à la température la plus basse qu'il avait atteinte. Lorsqu'on revient à cette dernière et qu'on la dépasse, la transformation se poursuit en général. Toutefois elle peut subir un retard et s'opérer brusquement, lorsqu'on est descendu de 10 ou 15 degrés. Ces retards ne se produisent qu'à des températures basses. L'auteur ne les a observés qu'au-dessous de zéro.

A l'état non magnétique, l'alliage a la dilatabilité du laiton, comme l'avait vu le premier M. J.-R. Benoît dans un alliage contenant du chrome, et comme l'a indiqué M. A. Le Chatelier pour un alliage non chromé. A l'état complètement magnétique, la dilatabilité est voisine de celle qui est indiquée par la loi des mélanges. Toutes les dilatabilités intermédiaires existent aussi suivant le degré de transformation.

Les aciers au nickel réversibles présentent des modifications résiduelles que l'auteur a étudiées en particulier pour les longueurs.

Une règle refroidie à l'air après le forgeage s'allonge lentement avec le temps et arrive, au bout de quelques mois, à un état sensiblement stationnaire Une chauffe à 100 degrés active le mouvement, qui s'arrête au bout de cinquante à cent heures. Lorsqu'il est terminé, à 100 degrés, il recommence si la règle est portée à 60 degrés, et s'arrête au bout de quatre cents ou cinq cents heures. Il reprend de même à une température plus basse et s'arrête après un temps encore plus long. Si l'alliage est arrivé à son état définitif à la température ordinaire, il reprend en sens inverse lorsqu'on le chauffe et revient, par une contraction, au volume précédemment occupé à cette température, et qui avait été atteint par une dilatation. Les phénomènes se compliquent encore dans des barres étirées à froid, le recuit opposé à l'écrouissage se superposant à celui qui est propre à l'alliage.

M. Guillaume cherche la raison des phénomènes observés dans des modifications chimiques que subissent les aciers au nickel. Ces modifications, qui consistent en des dissociations partielles et graduelles, réversibles ou irréversibles, expliquent à la fois les transformations magnétiques, les anomalies de dilatation (l'apparition du magnétisme, dû à la dissociation de la combinaison fer-nickel, ayant pour effet d'augmenter le volume moléculaire moyen), et surtout les retards des alliages réversibles. Ces derniers tendent, à chaque température, vers un équilibre chimique bien déterminé, qui s'établit à 1 ou 2 0/0 près en même temps que la température varie, et dont un dernier reste ne se produit que lentement.

La même théorie permet d'expliquer les déformations résiduelles du verre soit thermiques, soit élastiques, le verre étant, à toute température, un mélange de corps combinés et de corps dissous. La variation des proportions combinées ou dissoutes produit des variations lentes du volume dues à des changements dans les affinités avec la température et la pression. Cette théorie explique le retour spontané à la forme primitive après une déformation élastique ou thermique, l'absence de résidus dans des corps à constitution chimique simple comme le quartz, le fait que les verres contenant des proportions comparables des deux alcalis ont des résidus beaucoup plus considérables que les verres à un seul alcali, etc. Dans la théorie purement élastique des résidus, ces faits étaient inexplicables.

M. H. Le Chatelier fait observer que la théorie chimique des aciers au nickel formulée par M. Guillaume serait difficilement acceptable si l'on voulait prendre les mots décomposition et dissociation chimique dans leur sens strict. Le fer et le nickel purs sont le siège de phénomènes en tout semblables à ceux de leurs alliages; dans ces corps simples il ne peut être question de décomposition chimique. D'ailleurs toutes les tentatives faites pour déceler la présence du fer et du nickel libre dans les aciers au nickel ont échoué. Mais, d'après les explications développées par M. Guillaume, il semble qu'il donne plutôt au mot décomposition chimique la signification que l'on donne en chimie au mot dépolymérisation. Il n'y a aucune difficulté à admettre que les changements d'état du fer, du nickel et de leurs alliages dépendent des phénomènes moléculaires de l'ordre des polymérisations. Ce serait une explication semblable à celle qui a été proposée par M. Ramsay pour rendre compte des anomalies de l'eau, théorie que l'on pourrait étendre à d'autres cas semblables, par exemple au phosphore rouge dit amorphe. Le fer et le nickel isomorphes dans tous leurs sels le seraient encore à l'état métallique et formeraient, par leur mélange, une molécule complexe jouissant d'une capacité de polymérisation semblable à celle des molécules chimiquement simples du fer ou du nickel pris isolément.

M. Guillaume ne pense pas que les expériences faites jusqu'ici pour déceler la présence de fer et de nickel libres dans les aciers au nickel permettent de nier définitivement la séparation chimique des éléments à l'un des états des alliages. La présence du magnétisme et la dilatabilité moyenne des aciers au nickel irréversibles à l'un de leurs états, rapprochées de l'absence de magnétisme et de la dilatation anormale à l'autre état, lui semblent une forte présomption en faveur de l'idée que ces aciers sont un simple mélange au premier état.

Les variations de la chaleur spécifique du fer et du nickel à leurs points de transformation, examinées au point de vue de la loi de Dulong et Petit, conduisent à admettre que ces transformations consistent en doublements

ou dédoublements de la molécule, le magnétisme étant, d'une façon bien évidente, une propriété moléculaire et non atomique. La présence, dans un même alliage, de ces deux corps, peut changer complètement les conditions de leur transformation, les affinités du fer et du nickel l'un pour l'autre pouvant masquer les affinités de doublement de la molécule fer-fer ou nickel-nickel. Il doit y avoir, en effet, polymérisation en ce qui concerne chacun des corps considérés isolément, et combinaison ou groupement des deux corps entre eux, la polymérisation ordinaire de chacun des composants étant profondément affectée par la tendance à la combinaison.

M. Le Chatelier déclare que le désaccord entre ses idées et celles de M. Guillaume est moins grand qu'il ne l'avait cru d'abord, le terme, combinaison chimique, lui ayant paru avoir, dans l'exposé de M. Guillaume, un sens plus exclusif.

M. L. Poincaré signale à la Société, à l'appui de l'interprétation donnée par M. Guillaume de ses belles expériences, les travaux théoriques de M. Duhem, sur les déformations permanentes et l'hystérésis. M. Duhem, abordant ces questions par la thermo-dynamique, a précisément été amené à l'introduction d'une variable chimique, et il a ainsi, par le calcul, pu retrouver les résultats des observations de M. Guillaume sur les aciers irréversibles. D'autre part, dans un travail remarquable sur les déformations permanentes du verre, M. Marchis a développé une idée semblable, et, dans une note de son mémoire, il en a fait l'application aux aciers reversibles, qu'il considère comme dépendant d'une variable élastique non affectée d'hystérésis et d'une variable chimique; là encore la théorie est en parfait accord avec l'expérience.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1898.

Présidence de M. René Benoît.

La séance et ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. le marquis de Virieu, à Paris.

M. le Président annonce la mort de M. *Boutet de Monvel*, professeur honoraire du Lycée Charlemagne, l'un des plus anciens membres de la Société, auteur d'un traité classique de physique, qui a servi à l'éducation de toute une génération d'élèves et de divers autres ouvrages d'enseignement.

Sont nommés membres de la Commission chargée de vérifier les comptes de l'exercice 1897-1898 :

MM. Girardet, A. Poincaré et Pollard.

M. le Secrétaire général donne lecture des lettres adressées par M. Branly et M. Ducretet au sujet de la lettre suivante de M. Blondel :

Paris, 2 décembre 1898.

« Monsieur le Président,

« Le dernier fascicule des *Comptes Rendus des Séances de la Société*, qui vient d'être distribué, contient une intéressante conférence de M. Ducretet sur *la Télégraphie sans fil*, qui appelle quelques remarques.

La Société de Physique, par suite même de son caractère purement scientifique et impartial, ne saurait, je crois, laisser croire par un complet silence qu'elle accepte comme équitable l'énoncé de faits incomplets dans lequel l'auteur renferme l'historique de la télégraphie sans fil, et d'après lequel il semblerait qu'il n'y ait eu aucun intermédiaire entre les travaux de M. Branly (1890-1891) et de M. Popoff (1895-1896), et les appareils de vulgarisation de Ernecke (1897), Kohl, Ducretet (1898), etc.

Le véritable historique de la question a été donné en janvier 1898, par M. Voisenat devant la Société des Electriciens, et comme j'ai eu occasion de lire les mémoires originaux qu'il cite, notamment ceux de M. Popoff, je puis en confirmer la sincérité ; les faits font ressortir le rôle capital qu'ont joué, dans l'élaboration de la télégraphie sans fil, Lodge et Marconi.

M. Branly n'avait tiré aucune conséquence pratique de ses belles expériences scientifiques sur les tubes à limaille, quand Lodge eut l'idée, en 1894, de les associer avec un résonateur de Hertz pour déceler les ondes hertziennes et même inscrire les signaux à faible distance à l'aide d'un enregistreur à relai. C'est à lui vraiment qu'appartient la première idée de la télégraphie sans fil, à moins qu'on ne doive la faire remonter à Narkévitch Jodko qui, deux ou trois ans auparavant, avait fait à Vienne de très intéressantes transmissions par bobine de Rhumkorff mise à la terre et antenne avec un récepteur formé d'une antenne et d'un téléphone, mis aussi à la terre, sans bien comprendre peut-être quel rôle jouait, dans son expérience, les ondes électro-magnétiques.

Si ces deux auteurs n'ont pas réalisé des distances de transmission supérieures à quelques centaines de mètres, c'est seulement faute d'un récepteur sensible. Popoff, en 1895-1896, a remplacé le récepteur de Lodge par un tube plus sensible, relié à une antenne au lieu d'un excitateur circulaire ; il a réalisé l'enregistrement avec frappeur automatique des décharges atmosphériques, et indiqué qu'il pourrait transmettre et recevoir des signaux, s'il disposait d'un oscillateur assez puissant. Mais, en réalité, ce qui lui manquait, c'était un tube à limaille suffisamment sensible.

Marconi est le premier qui ait réalisé un tube de ce genre, grâce à l'emploi de limailles de nickel et d'argent en couche mince mises à l'abri de l'air. Grâce à ce nouveau cohéreur, il a pu, sans inventer aucun autre dispositif nouveau, entrer dans la terre promise vue par ses prédécesseurs et atteindre des distances de transmission prodigieuses, qui se comptent par dizaines de kilomètres.

Qu'en présence des publications antérieures, la télégraphie sans fil ne fût plus une invention brevetable au moment où Marconi l'a réalisée, avec un si brillant succès; que le cohéreur même qu'il a imaginé puisse être remplacé par d'autres différents, mais aussi sensibles, ce sont deux points certains pour moi, mais qui ne sauraient en rien diminuer au point de vue scientifique le mérite de M. Marconi.

Celui-ci a droit à une admiration sincère des physiciens pour son ingéniosité, sa persévérance et son talent d'expérimentateur, toutes qualités d'autant plus remarquables que le jeune électricien a à peine atteint sa majorité.

Il m'a paru nécessaire que, devant la Société de Physique, une voix désintéressée pût lui rendre cet hommage et dire, en même temps, que l'on se tromperait gravement, si l'on croyait pouvoir réaliser des résultats comparables aux siens à l'aide des cohéreurs qu'on trouve dans le commerce, et *a fortiori* des tubes à électrodes mobiles et à accès d'air, que je considère comme un véritable retour en arrière. »

BLONDEL.

Note de M. BRANLY. — Bien que l'expérience que j'ai toujours présentée comme l'expérience principale dans mon étude des radioconducteurs [élément de pile, tube à limaille et galvanomètre (1) formant un circuit où passe le courant après qu'on a fait éclater une étincelle à distance] soit l'image de la télégraphie sans fil, je n'ai aucune prétention à cette découverte, puisque je n'ai jamais songé à transmettre de signaux.

Je dois faire remarquer toutefois que les tubes à limaille dont je faisais usage en 1891 ne renfermaient, en général, qu'une épaisseur de 1/2, 1 ou 2 millimètres, qu'ils étaient à pression variable réglée par des poids et que leur sensibilité était comparable à celle des tubes de Marconi. Les tubes que Lodge a employés étaient infiniment moins délicats que les miens. En outre, comme je l'ai constaté et indiqué dans une communication que j'ai présentée en 1897 à l'Académie des Sciences, le mélange complexe indiqué par Marconi n'a pas de supériorité spéciale.

La télégraphie sans fil résulte réellement des essais de Popoff. Le savant russe a développé une expérience que j'avais souvent réalisée et que j'ai reproduite en 1891 devant la Société des Electriciens (2) : une étincelle inactive à une distance d'une dizaine de mètres devenait active quand on la faisait circuler dans une longue tige métallique.

(1) *Bulletin de la Société française de Physique*, avril 1891.
(2) *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, mai 1891.

De là l'emploi des longs conducteurs annexés au transmetteur et au récepteur et sans lesquels il n'y a pas de télégraphie à grande distance.

Ces réserves faites, je ne conteste en aucune façon le grand intérêt des expériences de Marconi.

Paris, le 14 décembre 1898.

« Monsieur le Président,

« J'ai l'honneur de vous adresser ces quelques lignes en réponse à la lettre de M. Blondel, du 2 de ce mois, que vous avez bien voulu me communiquer :

1° Les appareils que j'ai créés l'ont été en vue d'applications pratiques, à grande distance. Ils ne constituent pas de simples appareils de vulgarisation à mettre en parallèle avec les modèles de démonstration des maisons allemandes citées par M. Blondel;

2° La partie de la lettre de M. Blondel où il reconnaît la valeur des antériorités soulevées à propos de la *télégraphie sans fil* est absolument exacte;

3° M. Blondel n'a pas été à même de comparer mes radioconducteurs Branly (*à électrodes mobiles et à réglage*) avec ceux employés par M. Marconi (*à électrodes fixes et dans le vide*). Malgré les demandes qui m'ont été faites, à ce jour, aucun de mes radioconducteurs n'étant sorti de mes mains, le jugement *a priori* de M. Blondel lui est donc personnel.

Ma notice illustrée, de décembre, donne des détails complets sur mes appareils et expériences. »

E. Ducretet.

M. Dussaud fait fonctionner successivement deux appareils de son invention : les reliefs mobiles *pour les aveugles*, et le microphonographe *pour les sourds*.

Les reliefs mobiles, sorte de cinématographe où les photographies sont remplacées par des reliefs, permet d'inculquer aux aveugles, par le sens tactile les notions du mouvement et du déplacement des choses, comme, par exemple: le vol de l'oiseau, le balancement de la branche, le déferlement de la vague. Il procure pour l'éducation des aveugles de nouveaux et précieux avantages dont les résultats ont été présentés à l'Académie des Sciences par M. Léauté.

Le microphonographe que *M. Dussaud* a perfectionné avec la collaboration de MM. Jaubert et Berthon, a permis au Dr Laborde et au Dr Gellé, de la Salpétrière, d'obtenir des résultats remarquables pour le traitement de la surdité, résultats présentés à plusieurs reprises en 1897 et 1898 à l'Académie de Médecine et à la Société de Biologie. Le microphonographe est construit par la Société des Téléphones de Paris où des ingénieurs distingués, MM. Bailleux, Turner, et notamment M. Pithois, ont apporté à le perfectionner le concours de leur talent.

M. Dussaud décrit le microphonographe, qui est composé d'un phonographe dont la membrane actionne un microphone, lequel fait parler des récepteurs téléphoniques. Un seul récepteur a pu se faire entendre distinctement, le 11 novembre dernier, à plus de mille personnes, assises dans la grande salle de l'Université de Genève. La Société des Téléphones de Paris vient de construire et de faire fonctionner avec succès douze microphonographes accouplés, et qui peuvent actionner chacun deux cents récepteurs téléphoniques; théoriquement, la Société des Téléphones de Paris peut donc aujourd'hui faire entendre la voix d'un chanteur à *deux millions quatre cent mille personnes à la fois;* en pratique, ce nombre ne serait pas beaucoup réduit, car, lorsqu'on branche cent téléphones, ils parlent chacun, à peu de chose près, aussi haut que si on n'en avait branché que dix; en un mot, le microphonographe est au phonographe ce que le téléphone est au porte-voix. Il permet d'enregistrer et de répéter à un très grand nombre de kilomètres, et en plus en réglant le courant électrique, de graduer les sons des plus faibles *aux plus forts qu'aucune oreille humaine ne saurait supporter, même pendant une fraction de seconde.*

Appareil portatif pour recevoir les signaux hertziens lancés dans l'espace. — M. E. Ducretet présente son appareil portatif pour recevoir les signaux hertziens lancés dans l'espace; il dérive de celui de M. A. Popoff. Cet appareil, rendu indépendant de l'enregistreur, permet la *lecture au son* des signaux lancés dans l'espace, et il peut être relié, à volonté, soit à un récepteur Morse ordinaire ou à celui automatique que M. Ducretet a fait connaître, soit encore à un enregistreur météorologique.

Comme organes principaux, cet appareil portatif comprend: un radioconducteur Branly (du modèle Ducretet à réglage et à tube en ivoire), avec le frappeur automatique commandé par le relais sensible qui fait partie du circuit du tube à limaille. Une résistance liquide supprime les effets des étincelles d'extra-courant de rupture. Les éléments de pile qui servent au circuit du radioconducteur et à celui du relais sont à l'intérieur de ce poste portatif.

Cet appareil, relié au récepteur Morse automatique, est celui qui a fonctionné, en présence de M. Mascart, entre le Panthéon et la Tour Eiffel (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 7 novembre 1898). L'intervalle de 4 kilomètres qui sépare ces deux monuments est occupé par un grand nombre de constructions élevées. Les signaux reçus au Panthéon ont été toujours très nets, par tous les temps; cette distance peut donc être considérablement augmentée; elle n'a pas été choisie comme limite extrême.

Cet appareil, créé par M. Ducretet en vue d'*applications pratiques à grande distance*, convient aux expériences de cours.

M. Dussaud a eu l'occasion d'étudier de près cet appareil; il trouve que M. Ducretet a mis beaucoup trop de modestie dans son exposé, et que son

appareil constitue une véritable invention ; il est infiniment supérieur aux appareils allemands destinés aux démonstrations et ne saurait, à aucun point de vue, leur être comparé.

La télégraphie sans fils de M. Ducretet ouvre une phase nouvelle dans l'histoire de ce récent mode de transmission.

Recherches de M. Arons sur le cohéreur; par M. Broca. — L'attention de la Société étant portée sur la télégraphie sans fils, M. Broca résume en quelques mots les belles recherches de M. Arons (*Annales de Wiedemann*, LXV, p. 567; 1898) sur le cohéreur. Beaucoup d'auteurs avaient essayé, en vain, d'étudier au microscope ce qui se passe dans les limailles sous l'action des ondes électriques. M. Arons est arrivé à construire un appareil donnant des résultats absolument réguliers. Deux feuilles de papier d'étain taillées en pointe sont collées sur verre, les pointes en regard et très rapprochées. L'observation est faite avec un grossissement de 60 à 85 fois. L'espace entre deux pointes est garnie d'une trace fine de limaille. Dans ces conditions, quand la conductibilité électrique s'établit, on voit de petites étincelles jaillir entre les grains de limaille, et des mouvements énergiques se produisent. Les grains se disposent en ponts qui servent de conducteurs au courant. Ces ponts se rompent sous l'action des chocs, et la résistance est rétablie. Les essais ont porté sur le laiton, l'argent et le fer. Avec le laiton, il se forme parfois des ponts assez solides pour résister aux chocs. C'est donc un métal à ne pas employer.

L'expérience a porté aussi sur des préparations incluses dans le baume de Canada ou le copal. Les phénomènes y sont analogues; mais il faut presser sur le couvre-objet pour ramener la résistance infinie ; les chocs ne suffisent pas. Quand ces préparations ont fonctionné un certain temps de suite, elles sont hors d'usage. On voit alors qu'il y a de petites bulles de gaz dégagées. Après quelques heures, celles-ci se résorbent, et l'appareil peut recommencer à fonctionner. Enfin M. Arons a fait deux observations intéressantes : 1° Des ondulations très puissantes détruisent les ponts formés. On n'a pas encore observé le fait, à cause des grandes dimensions des cohéreurs actuels, qui sont tels que, lorsque certains ponts se détruisent, d'autres se forment;

2° Quand on emploie les deux pointes de papier d'étain très rapprochées, la conductibilité s'établit cependant, et on peut voir que c'est par formation d'un dépôt d'étain volatilisé aux électrodes et formant seulement une très mince couche brune. Il est évident qu'aucun choc ne supprime cette conductibilité.

En somme, ces expériences montrent que les cohéreurs fonctionnent grâce à la finesse extrême des points de limailles. L'énergie totale dépensée a beau être faible, l'énergie spécifique sur les pointes est suffisante pour y produire des fusions, des volatilisations, des décompositions chimiques.

DÉCISIONS DU CONSEIL.

Le Conseil de la Société de Physique a décidé que la Société provoquerait la réunion d'un Congrès international de Physique en 1900. Ce Congrès se réunira dans les bâtiments affectés à cet usage, dans l'enceinte de l'Exposition universelle, et aura lieu du lundi 6 au samedi 11 août 1900.

Le Conseil a, en outre, décidé que la Société de Physique ne prendrait pas part à l'Exposition comme exposante.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1898.

Actes de la Société scientifique du Chili, fondée par un groupe de Français. — 6e année, t. VI, 1898; in-4°.

Almanach-Annuaire de l'Électricité et de l'Électrochimie. — Année 1898. Publié par M. Firmin Leclerc; vol. in-18.

American Journal of Science. — 4e série, vol. V et VI, 1898; in-8°.

American Journal of Mathematics. — Edited by Thomas Craig with the co-operation of Simon Newcomb. — Published under the Auspices of the Johns Hopkins University, t. XIX, nos 3 et 4, t. XX, nos 1 à 3; in-4°.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge. — Band LXIII et LXIV, 1898; 3 vol. in-8°.

Annales de Chimie et de Physique. — 7e série, t. XII, XIV et XV, 1898; 3 vol. in-8°.

Annales de la Faculté des Sciences de Marseille. — T. VIII, année 1898; 1 vol. in-4°.

Annales de l'École polytechnique de Delft.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie. — Publié par S.-C. Hepitès. T. XII, année 1896; 1 vol. in-4°.

Annales télégraphiques. — 3e série, t. XXIV, janvier à août 1898; in-8°.

Annuaire pour l'an 1898 avec des Notices scientifiques. — Publié par le Bureau des Longitudes. — Paris, Gauthier-Villars et fils; in-18.

Archives des Sciences physiques et naturelles de Genève. — T. XXXV, 1898; 1 vol. in-8°.

Archives d'Électricité médicale, expérimentale et clinique. — Publiées par J. Bergonié, 6e année, nos 71 et 72; 1898; 1 vol. in-8°.

Astrophysical Journal, an International Review of Spectroscopy and Astronomical Physics (Chicago). — Vol. VI et VII, 1898; in-8°.

Astronomical and Magnetical and Meteorological observations made at the Royal Observatory Greenwich in the year 1894, under the direction of W. H. M. Christie, M. A., F. R. S. — London, printed for the Majesty's stationery office, 1897; 1 vol. in-4°.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Band XXI, 1898; 1 vol. in-8°.

Bulletin des Sciences physiques, publié par les soins de l'Association amicale des Elèves et anciens Elèves de la Faculté des Sciences de Paris, sous la direction de M. Albert Renault. — Année 1898; nos 1, 3 et 4; in-4°.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens. — T. XV, année 1898; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société française de Minéralogie. — T. XXI, année 1898; 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens. — Année 1898, 1 vol. in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale. — T. XI, 4e série, 1898; 1 vol. in-4°.

Bulletin de la Société philomatique de Paris. — Compte rendu sommaire des séances, 1898; in-8°.

Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles. — 3e série, vol. XXXIV, année 1898; 1 vol. in-8°.

Bulletin de l'Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore. — 2e série, t. IX, année 1897-1898; 1 vol. in-8°.

Bulletin international de l'Académie des Sciences de Cracovie. — Année 1898; 1 vol. in-8°.

Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. — T. CXXVI et CXXVIII, 1898; 2 vol. in-4°.

Congrès des Sociétés savantes: Discours prononcé à la Séance générale du Congrès, le samedi 16 avril 1896, par M. Darlu et M. Alfred Rambaud, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. Paris, Imprimerie Nationale, 1898. Br. in-8°.

Digest of Physical Tests and Laboratory Practice a resume of Practical Test made in the Laboratory of the World (The). — Published quaterly by Frederick A. Riehlé, Philadelphie. Pa. U. S. A. Vol. III, 1898. Br. in-8°.

Electrician (The). — Vol. XXXVI et XXXVII, 1898; 2 vol. in-4°.

Électricien (L'). — Revue internationale de l'Électricité et de ses applications. — 2e série, t. IX; année 1898; in-8°.

Énergie électrique (L'). — Journal universel d'Électricité, 5e année, nos 82 et 83; 85 à 89; 91 et 92; 98 à 100; année 1898.

Festschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich, 1496-1896. Zurich, Zuscher et Furrer, 1896. 2 vol. in-8°.

Fortschritte der **Physik im Jahre 1897,** I, II, III, Dargestellt von der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin; 3 vol. in-8°.

Fortschritte der Physik Im Jahre 1892, II, 1 vol. in-8°.

Guide-Annuaire général des industries gaz, eaux, électricité. 3e année. Paris, Dubuisson, 1898; 1 vol. in-8°.

Industrie électrique (l'). — Revue de la Science électrique et de ses applications industrielles, t. VIII, année 1898; 1 vol. in-4°.

Journal de physique, théorique et appliquée, fondé par J.-Ch. d'Almeida, et publié par MM. E. Bouty, A. Cornu, G. Lippmann, E. Mascart, A. Potier. 3e série, 27e année, t. VII, 1898; 1 vol. in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires. — Publié par M. A. Buguet. 12e année, 1898; 1 vol. in-8°.

Journal of the Franklin Institute. — T. CXLV et CXLVI, 1898; 2 vol. in-8°.

Journal de la Société Physico-chimique russe de Saint-Pétersbourg. — T. XXX, 1898; 1 vol. in-8°.

Journal of the Institution of Electrical Engineers including original Communications on Telegraphy and Electrical Science. — Vol. XXVII, nos 126 à 130, 1898; 1 vol. in-8°.

Journal of Physical Chemistry (Ithaca). — Vol. II, année 1898; in-8°.

Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, edited by Honorary Secretaries. — Vol. XXXI, 1897; 1 vol. in-8°.

Journal de la Société Impériale technique russe. Nos 1 à 9, année 1898, In-8°.

Mémoires de la Société d'Émulation du Doubs. — 7e série, vol. II; 1897. Besançon, Dodivers et Cie; 1 vol. in-8°.

Memoirs and Proceedings of the Manchester litterary and philosophical Society. — T. LXII, année 1897-1898; in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 4e série, 51e année, année 1898; 1 vol. in-8°.

Mémoires et Comptes Rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils de France. — Cinquantenaire 1848-1898. Tomes I et II. Bulletins de juillet et août 1898. 2 vol. in-8°.

Memorias y revista de la Sociedad cientifica « Antonio Alzate » (Mexico); t. XI, 1897-1898; 1 vol. in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. XVII, 1898 ; 1 vol. in-8°.

Moniteur industriel. — Vol. XXV, année 1898; 1 vol. in-4°.

Nature (de Londres). — 1 vol. in-4°. Année 1898.

Nuovo Cimento (**Il**). — 4e série, vol. 7 et 8, année 1898, 1 vol. in-8°.

Philosophical Magazine and Journal of Science. — Fifth series, vol. 45 et 46, 1898; 2 vol. in-8°.

Physical Review. — A Journal of experimental and theoretical Physics, t. VI et VII, 1898; 1 vol. in-8°.

Proceedings and Transactions of the Nova Scotian Institute of natural Science of Halifax, Nova Scotia.

Proceedings of the Physical Society of London. — Vol. XV, 1898; 1 vol. in-8°.

Proceedings of the American Academy of Arts and Science. — Vol. XXXIII, 1898; in-8°.

Proceedings of the American Philosophical Society held at Philadelphia for promoting useful knowledge. — Vol. XXXVII, n° 157.

Proceedings of the Royal Society. — Vol. LXII, LXIII et LXIV, n° 382 à 405, 1897 ; 2 vol. in-8°.

Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. — Vol. XXI, sessions 1895-1896; 1896-1897, in-8.

Revue générale des Sciences pures et appliquées. — Publiée par M. Louis Olivier. 9e année, 1898; 1 vol. in-4°.

Revue industrielle (**la**). — Année 1898; 1 vol. in-4°.

Revue des Questions scientifiques. — Publiée par la Société scientifique de Bruxelles. T. XXIII et XXIV, 1898 ; 1 vol. in-8°.

Revue de Physique et de Chimie et de leurs Applications industrielles. — Publiée sous la direction scientifique de M. Schützenberger, 2e année, 1897-1898 (nos 1 à 9) ; 1 vol. in-8°.

Royal Institution of Great Britain, Weekly evening meeting. Friday, February, 4, 1898, and Friday, May 13, 1898. In-8°.

Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society.

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. — Procès-verbaux des séances. Année 1898. In-8°.

Technology quarterly and Proceedings of the Society of Arts. — Vol. XI, 1898. In-8°.

Transactions of the Royal Society of Edinburgh. — Transactions of the Royal Society of Edinburg, vol. XXXVIII, part. III and IV, for the session 1895-1896, and vol. XXXIX, part. I, for the session 1896-97. In-4°.

United States Coast and Geodetic Survey. Report 1896, parts I and 2.

Seventeenth Annual Report of the United States geological Survey to the Secretary of the interior. Part. 1 et 2, 1895-1896, 2 vol. in-4°.

Verhandlungen der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Jahrg. 1898 ; 1 vol. in-8°.

Science abstracts physics and electrical engineering. Vol. I, année 1898, n° 1. — London, Taylor and Francis, 1898. Br. in-8°.

Société des Sciences de Finlande. — Exploration internationale des régions polaires, 1882-83 et 1883-84. Expédition polaire finlandaise. — Tome I : Météorologie ; — Tome II : Magnétisme terrestre ; — Tome III : Electricité atmosphérique Courants telluriques ; Courants électriques de l'atmosphère ; Phénomènes lumineux de l'aurore boréale, naturels et artificiels. — Publiés aux frais du Gouvernement finlandais, sous les auspices de la Société des Sciences de Finlande. 3 vol. in-8° (1886-1887-1898).

Arnold (W.). — Einfluss der Luminescenz der Antikathode auf Aussendung der Röntgenstrahlen. Br. in-8°.

Bandsept (A.). — Brûleurs et manchons pour l'incandescence par le gaz. — Bruxelles, Impr. Universitaire, S.-H. Moreau, 1897. Br. in-8°.

Battelli (A.). — Lavori eseguiti nell' Istituto di fisica dell'Universita di Pisa. (Anno Scolastico 1896-97). Vol. II. Pise, Pieraccini, 1898. 1 vol. in-8°.

Battelli (A.) et **Garbasso (A.).** — Azione dei raggi catodici sopra i conduttori isolati. (Nota seconda.) (Extr. *Nuovo Cimento*, série IV, vol. VI ; Luglio, 1897.) In-8°.

Bloch (R.) Salvador. — Recherches expérimentales sur l'absorption métallique de la lumière et les phénomènes optiques qui s'y rattachent. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

Börnstein (R.). — Der Jahrliche und tägliche gang der temperatur in Berlin N. (Extr. *Berliner Zweigverein der Deutschen Meteorologischen gesellschaft*, 1898.) Br. in-8°.

Börnstein (R.) et **Less (E.).** — Die Temperaturverhältnisse von Berlin. (Extr. *Meteorologische Zeitschrift*, septembre 1898.) In-8°.

Bose (Jagadis Chunder). — Electro-Magnetic Radiation and the Polarisation of the Electric Ray. (*Royal Institution of Great Britain, Weckly evening Meeting. Friday, january* 29, 1897.) In-8°.

Bouasse (H.). — Sur la torsion des fils fins. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1896. In-8°.

— Sur les oscillations à peu près sinusoïdales à longue période. — Application à l'étude de la résistance de l'air et des propriétés élastiques des fils fins. (Extr. *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, t. XII, 1898.) Br. in-4°.

Bouasse (**H.**). — Exposé et discussion des principales expériences faites sur les phénomènes de torsion. (Extr. *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, t. XII, 1898.) Br. in-4°.

Boyer (**Jacques**). — La photographie et l'étude des nuages. — Paris, Ch. Mendel, 1898. 1 vol. in-12.

Colson (**R.**). — Mémoires originaux des créateurs de la photographie (Nicephore, Niepce, Daguerre, Bayard, Niepce de Saint-Victor, Poitevin), annotés et commentés. Paris, G. Carré et C. Naud, 1898. 1 vol. in-8°.

Danilewsky (**Constantin**). — Exposé lu dans la sous-section d'aérostation du Xe Congrès de Naturalistes et Médecins. — Kieff, 27 août 1898.

— Tableau de la valeur comparative de l'application pratique du ballon de type moderne et de l'appareil volant inventé par le Dr Danielwsky.

Décombe (**L.**). — Résonance multiple des oscillations électriques. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898. In-8°.

Dongier (**R.**). — Première Thèse : Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infrarouge. — Deuxième Thèse : Variation de la biréfringence du quartz avec la direction de la compression. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898. Br. in-8°.

Dumont (**E.**). — Recherches sur les propriétés magnétiques des aciers au nickel, Genève, Rey et Malavalton, 1898. Br. in-8°.

Fabry (**Ch.**) et **Perot** (**A.**). — Sur les franges des lames minces argentées et leur application à la mesure de petites épaisseurs d'air. (Extr. *Ann. de Chimie et de Phys.*, 7e série, t. XII, décembre 1897.) In-8°.

— Mesure du coefficient de viscosité de l'air. (Extr. *Ann. de Chimie et de Phys.*, 7e série, t. XIII, février 1898.) In-8°.

— Électromètre absolu pour petites différences de potentiel. (Extr. *Ann. de Chimie et de Phys.*, 7e série, t. XIII, mars 1898.) In-8°.

— Mesure de la force électromotrice de la pile Latimer-Clark à 0° en fonction du volt international, au moyen de l'électrolyse de l'azotate d'argent. Br. in-4°.

Féral (**Gaston**). — Observations météorologiques sur les pluies générales et les tempêtes. Nouvelle édition. Albi, impr. des Apprentis Orphelins, 1897. Br. in-8°.

Fonvielle (**W. de**). — Les ballons-sondes et les ascensions internationales, précédé d'une introduction de M. Bouquet de la Grye. Paris, Gauthier-Villars, 1898. 1 vol. in-18 jésus.

Foveau de Courmelles. — Des courants de haute fréquence en gynécologie. (Extr. *Revue clinique d'andrologie et de gynécologie*, 13 janvier 1898.) Br. in-8°.

Foveau de Courmelles. — Électricité médicale. — Courants statiques et de haute fréquence. — Rayons X. — Outillage électrothérapique. Communications faites au Congrès de Neurologie et Electricité médicale de Bruxelles, septembre 1897. Paris, Maloine, 1898. Br. in-4°.

— Des tubes de Crookes à actions multiples ou ampoules doubles. (Extr. *Ann. d'Electrobiologie, d'Electrothérapie et d'Electrodiagnostic*, 15 septembre 1898.) In-8°.

— Nouvelles théories sur la lumière et la vision. (Extr. *la Radiographie*, n° 17, juin 1898.) In-8°.

Guebhard (Adrien). — Les clichés colorés. (Extr. *la Photographie pour tous*, 1898.) In-8°.

— Pourquoi les lointains viennent trop en photographie. (Extr. *Photo-Midi*, juin 1898.) In-8°.

— Photographie sans lumière! (Extr. *Photo-Midi*, juillet 1898.) In-8°.

— De l'emploi de la plaque voilée comme enregistreur. (Extr. *Bull. de la Soc. Vaudoise des Sciences naturelles*, mars 1898.) In-8°.

— Un cas nouveau d'action photographique à travers les corps opaques ; Du rôle de la diffusion dans les bains révélateurs. (Extr. *les Rayons X*, avril et mai 1898.) In-8°.

— Les Brandtiques, polémique effluviste. Paris, G. Camproger, 1898. In-8°.

— La Photographie au Congrès de l'Afas. (Nantes, 1898.) (Extr. *Photo-Midi* et *Photographie pour tous*, août 1898.)

— Sur la prépondérance de l'action mécanique des courants de convection, dans les enregistrements de figures d'effluves sur plaques voilées soumises à l'action de pôles thermiques dans les bains révélateurs. (Extr. des *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXVI, p. 589, 21 février 1898.) In-4°.

— Sur les prétendus enregistrements photographiques de fluide vital. (Extr. de *la Vie scientifique*, n°s 106, 108 et 110, 1898.) In-4°.

— Résumé d'une étude sur certains phénomènes de ségrégation moléculaire observables dans les liquides troubles, en général, et plus particulièrement dans les révélateurs photographiques abandonnés au repos, même après filtrage, sous faible épaisseur. (Extr. *Procès-Verbaux des séances de la Société d'Etudes scientifiques et archéologiques de Draguignan.*) In-8°.

— A propos des enregistrements photographiques d'effluves humains. (Extr. *Revue scientifique*, 4e série, t. IX, p. 75, janvier 1898.) In-8°.

— Petit manuel de photographie spirite sans « fluide ». (Extr. journal *la Photographie pour tous*, p. 65, 81 et 97; 1897-1898.) In-8°.

— Sur les phénomènes de ségrégation moléculaire observables dans les liquides troubles abandonnés au repos. (Extr. *Séances de la Société française de Physique*, 16 juin et 16 juillet 1897.) In-8°.

Guggenheimer (**Siegfr.**). — Contributions expérimentales à l'étude des rayons de Röntgen. (Extr. *Arch. des Sciences phys. et nat.*, 4e période, t. V, mars 1898.) Br. in-8°.

Guillaume (**Ch.-E.**). — Recherches sur les aciers au nickel. (Extr. du *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mars 1896.) In-4°.

— Sur la détermination des courbes terminales des spiraux. (Extr. *C. R.*, mai 1898.) In-4°.

Hagenbach (**Ed.**). — Die Umkehrung der Ventilwirkung in Entladungsröhren. (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, Band. 63, 1897.) Br. in-8°.

Hale (**Georges-E.**). — The Yerkes Observatory of the University of Chicago. (Extr. *The Astrophysical Journal*, vol. V, nos 3, 4 et 5; et vol. VI, n° 1, june 1897.) — The University of Chicago Press, 1897. Br. in-8°, Chicago.

— The Yerkes Observatory of the University of Chicago. Bulletin n° 4 : Addresses delivered in connection with the dedication of the Yerkes University. (Extr. *The Astrophysical Journal*, vol. VII, n° 4, november 1897.) Chicago, The University of Chicago Press, 1897. In-8°.

— The Yerkes Observatory of the University of Chicago. Bulletin n° 5 : Proceedings of the Conferences Held at the Yerkes Observatory, october 18 = 21. (Extr. *Astrophysical Journal*, vol. VI, n° 5, december 1897.) — Chicago, The University of Chicago Press, 1897. In-8°.

Heycock (**Charles-T.**). — Metallic Alloys and the Theory of Solution. (*Royal Institution of Great Britain, Weekly evening Meeting. Friday*, april 2, 1898.) In-8°.

Journet (**F.**). — Les nouvelles installations électriques de la Compagnie parisienne de l'air comprimé. (Extr. du *Génie civil*, 1898.) In-8°.

Klein (**Félix**). — Conférences sur les Mathématiques, faites au Congrès de Mathématiques tenu à l'occasion de l'Exposition de Chicago, recueillies par le Prof. Alex. Ziwet, traduites par M. L. Langel. — Paris, A. Hermann, 1898. Br. in-8°.

Lamotte (**M.**). — Ueber electrische Oberschwingungen. (Extr. *Ann. der Physik und Chimie*, Band. 65; 1898.) Br. in-8°.

Lauriol. — Éclairage au gaz, éclairage électrique, tramways. (Ville de Paris. — Mission à l'étranger. — Compte rendu sommaire.) Paris, Imprimerie nationale, 1898. In-4°.

Leduc (**A.**). — Recherches sur les gaz, volumes moléculaires et états correspondants. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898. Br. in-8°.

Luggin (**H.**). — Uber die photoelektrischen Erscheinungen und den photographischen Prozess. (Extr. *Zeitschrift fur Phys. Chemie*, t. XXIII, 4; 1897.) In-8°.

Lussana (**Silvio**). — Influenza della temperatura sul coefficiente di trasporto degli ioni. (Extr. *Atti del R. Instituto Veneto di Scienze, lettere et arti*, t. IX, série VII, 1897-1898.) Venezia, C. Ferrari, 1898. Br. in-8°.

— Sul calore specifico dei gas, Ricerche sperimentali. (Extr. *Nuovo Cimento*, série 4, vol. VII.) Pise, Pieraccini, 1898. Br. in-8°. Giugno, 1898.

Marage. — Contribution à l'étude des voyelles par la photographie des flammes manométriques. Paris, Masson et Cie, 1898. Br. in-8°.

Mathias (**E.**). — Sur les gammes musicales, considérées au point de vue de l'enseignement de la musique. (Extr. *Bull. de l'Acad. des Sciences, Inscriptions et Belles-Lettres de Toulouse*, 26 juin 1897.) In-8°.

— Sur les propriétés thermiques des fluides saturés. In-4°.

Maurain (**Ch.**). — Recherches sur les écrans électro-magnétiques et l'influence de la fréquence sur l'énergie dissipée dans l'aimantation. (Thèse. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898.) Br. in-8°.

Meslin (**G.**). — Sur l'Energétique. — Discours prononcé à la séance de rentrée de l'Université de Montpellier, le 4 novembre 1897. — Martel aîné, Montpellier, 1897. Br. in-8°.

Moessard (**P.**). — Optique photographique (Enseignement supérieur de photographie. Cours professé à la Société française de Photographie.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1898. 1 vol. grand in-8°.

Moissan (**Henri**). — Le Fluor (*Royal Institution of Great Britain, Weekly evening Meeting. Friday*, may 28, 1897.) In-8°.

Moureaux (**Th.**). — Déterminations magnétiques faites en France pendant les années 1895 et 1896 (Extr. des *Annales du Bureau central météorologique.*) In-4°.

Neyreneuf (**N.**). — Tuyaux sonores coniques. (Extr. des *Mémoires de l'Acad. nat. des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Caen*, 1898.) Br. in-8°.

Niewenglowski (**G.-H.**). — Technique et applications des rayons X. Traité pratique de radioscopie et de radiographie. (Paris, Société d'Éditions scientifiques, 1898.) 1 vol. in-8°.

Pellat (**H.**). — De l'énergie d'un champ magnétique. (Extr. des *Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences*, octobre 1898). In-4°.

Pellat (**H.**) et **Sacerdote** (**P.**). — Sur la variation des constantes diélectriques avec la température (Extr. des *C. R.*, octobre 1898.) In-4°.

Perrin (**Jean**). — Rayons cathodiques et rayons de Röntgen. (Thèse.) Paris, Gauthier-Villars et fils, 1897. In-8°.

Pfaundler (**L.**). — Über einen Erdbfeben-Registrator mit elektrisch-photographischer Aufzeichnung des Zeitmomentes des Stosses. (Extr. *Akademie der Wissenschaften in Wien*, Bd. CVI, 1897.) Br. in-8°.

— Ueber die Spannkarft der Quecksilberdämpfe im Intervall 0° *bis* 100°. (Extr. *Annalen der Phys. und Chemie*, Bd. 63, 1897.)

Rey-Paillade (J. de). — L'extension du système décimal aux mesures du temps et des angles. Théorie, applications scientifiques et industrielles. Paris, Gauthier-Villars et fils. Toulouse, Gimet-Pineau, 1897. Br. in-8°.

Rittler von Geitler (Josef). — Ueber electrische und magnetische Zerlegung der Kathodenstrahlung. (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, Band. 65; 1898). Br. in-8°.

Route Ball. — Récréations et problèmes mathématiques des temps anciens et modernes. 3e édition, revue et augmentée par l'auteur, et traduite par J. Fitz-Patrick. Paris, A. Hermann. 1898. 1 vol. in-8°.

Schiller (M.). — Sur la force et la masse (en russe). Kiew, 1898. Br. in-8°.

Schiller (N.). — Einige Versuche über Verdampfung von Flussigkeiten durch einen hohen Gasdruck. (Extr. *Ann. der Phys. und Chemie*, Band. 60; 1897.) Br. in-8°.

Sentis (H.). — Tension superficielle de l'eau et des solutions salines. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1897. In-4°.

Smithells (Arthur). — The source of Light in flames. (*Royal Institution of Great Britain, Weekly evening Meeting. Friday*, march 12, 1897.) In-8°.

Soret (Charles). — Influence des vagues sur la lumière réfléchie par une nappe d'eau. (Extr. *Archives des Sc. phys. et nat. de Genève*, 4e période, t. IV, 1807.) Br. in-8°.

Stackelberg (Ed. von). — Ueber Lösungs-und Verdunnungswärmen. (Extr. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, XXVI, 3, 1898.) Br. in-8°.

Tokyo-Sugaku. — Butsurigaku kwai kiji. Maki, n° VIII. Dai 1, 2; 1898. (Tokyo Mathematico-Physical Society at the Imperial University of Tokyo).

Thomson (J.-J.). — Cathode Rays. (*Royal Institution of Great Britain, Weekly evening Meeting. Friday*, avril 1897.) In-8°.

Tommasi (D.). — Relation entre la chaleur dégagée à l'intérieur des couples voltaïques et la chaleur transmissible au circuit sous forme d'énergie chimique. (Note manuscrite.)

— De l'équilibre thermique dans l'électrolyse. (Note manuscrite.)

Turpain (A.). — Sur le champ hertzien. (Extr. des *Procès-Verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, mars 1898.) In-8°.

— Sur le résonateur de Hertz. (Extr. des *Procès-Verbaux de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, janvier 1898.) In-8°.

— Sur divers procédés d'observation de la résonance électrique. (Extr. des *Procès-Verbaux des Séances de la Soc. des Sc. Phy. et Nat. de Bordeaux*, 23 décembre 1897.)

— Sur les expériences de Hertz. (*Société des Sciences Phys. et Nat. de Bordeaux*, avril 1895.) 1 vol. in-8°.

— Sur le résonateur de Hertz. [Extr. des *Procès-Verbaux des Séances de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux* (séance du 20 janvier 1898).] Br. in-8°.

— Sur le champ hertzien. [Extr. des *Procès-Verbaux des Séances de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux* (séance du 31 mai 1898).]

Van den Broeck. — Exposé préliminaire de l'étude du grisou dans ses rapports avec les phénomènes de la météorologie endogène et au point de vue de sa prévision par l'observation des microséismes. (Extr. *Bull. Soc. Belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, 14 juin 1898.) In-8°.

Van't Hoff (J.-H.). — Leçons de Physique professées à l'Université de Berlin, 1re Partie; La Dynamique chimique. Ouvrage traduit de l'allemand par M. Corvisy. Paris, A. Hermann, 1898, 1 vol. in-8°.

Veillon (Henri). — Quelques expériences avec les cohéreurs. (Extr. *Arch. des Sciences phys. et nat. de Genève*, t. V, mai 1898.) In-8°.

Wiedemann (E.). — Umwandlung der Energie von Kathodenstrahlen in diejenige von Lichtstrahlen. (Extr. *Ann. der Phys. und Chem.*, Band. 56, 1898.) In-8°.

— Ueber die einfachen Kathodenstrahlen von Deslandres. (Extr. *Phys. Institut der Universität zu Erlangen*, 1898.) Br. in-8°.

Wiedemann (E.) et **Schmidt (G.-C.).** — Electrische und thermische Messungen an Entladungsröhren. (Extr. *Ann. der Phys. und Chem.*, Band. 66, 1898.) In-8°.

Wiedemann (E.) et **Wehnelt (A.).** — Kathodenstrahlen und Kanaltrahlen im Magnetfelde.

— Scheinbare gegenseitige Abstossung konvergierender Kathodenstrahlen.

— Kathodenstrahlen als Strombahn.

Wydts-Rochefort. — Note sur le transformateur électrique à haute tension. Paris, Vve Butot, 1898. Br. in-8°.

Zacharias (Johannes). — Transportable Akkumulatoren. Anordnung, verwendung, Leistung, Behandlung und Prüfung derselben. Berlin, C.-W. et S. Loewenthal, 1898. 1 vol. in-8°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1899.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1899.)

BUREAU.

MM. Général BASSOT, *Président.*
CORNU, *Vice-Président.*
POINCARÉ (L.), *Secrétaire général.*
RAVEAU, *Secrétaire.*
ABRAHAM, *Vice-Secrétaire.*
DE LA TOUANNE, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :		*Membres non résidants :*	
MM. CHAPPUIS (J.).	1897.	MM. BATTELLI (Pise).	1897.
FAVÉ.		BRUNHES (Dijon).	
POINCARÉ (L.).		DELAUNAY (Novo-Alexandria).	
SERRÉ-GUINO.		GOSSART (Bordeaux).	
BRANLY.	1898.	GAYON (Bordeaux).	1898.
CARVALLO.		HURMUZESCU (Jassy).	
SIEGLER.		SENTIS (Grenoble).	
VILLARD (P.).		SORET (Genève).	
BROCA (A.).	1899.	BERGONIÉ (Bordeaux).	1899.
DESLANDRES.		FABRY (Marseille).	
JANET.		LECHER (Prague).	
ROMILLY (P. DE).		LUSSANA (Sienne).	

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.
1888.		ROMILLY (de).
1889.		MASCART.
1890.		MALLARD.
1891.		FRIEDEL.
1892.		VIOLLE.
1893.		LIPPMANN.
1894.		JOUBERT.
1895.		CAILLETET.
1896.		BOUTY.
1897.		BECQUEREL (H.).
1898.		BENOIT (R.).

MM. ALMEIDA (d'), *Secrétaire général, Fondateur* (1873-1880).
JOUBERT, *Secrétaire général honoraire* (1880-1890).
NIAUDET, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1875-1882).
MAURAT, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1883-1890).
PELLAT, *Secrétaire général honoraire* (1891-1898).
GAY, *Trésorier-Archiviste honoraire* (1891-1898).

MEMBRES HONORAIRES (1).

MM. **STOKES** (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge (Angleterre).
KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).
BELL (**Alex. Graham**), de Washington (États-Unis).
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
JANSSEN (**J.**), Membre de l'Institut.
BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie Française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.
ROWLAND (**H.-A.**), Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).
CORNU (**M.-A.**), Membre de l'Institut.
MASCART (**E.-E.-N.**), Membre de l'Institut.

DONATEURS (2).

	fr.
COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI (**Baron d'EICHTHAL**)	2 000
COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI	1 000

---

(1) *Membres honoraires décédés* :

MM.	A. Becquerel.	1874-78.
	V. Regnault.	1876-78.
	Secchi.	1876-78.
	Billet.	1876-82.
	Plateau.	1880-83.
	Jamin.	1882-86.
	Edlund.	1884-88.
	Broch.	1878-89.
	Joule.	1878-89.
	Hirn.	1890-90.
	Ed. Becquerel.	1882-91.
	Fizeau.	1873-96.

Extrait des Statuts : Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'Etranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(2) Les noms des personnes qui auront donné à la Société une somme supé-

MM. **ANONYME** (pour aider à la publication des Mémoires). 5 000
GUEBHARD, Agrégé des Facultés de Médecine (pour l'amélioration de la Bibliothèque)..... 10 000
ANONYME (pour aider à la publication du volume des constantes)..... 5 000
JENNESSON, Principal de Collège (Legs)..... 500
ANONYME (Solde des comptes de la Société chez MM. Gauthier-Villars et fils)..... 5 547,50
BISCHOFFSHEIM, Membre de l'Institut..... 1 500
SAUTTER et **LEMONNIER**, Une machine dynamo.
JEUNET, Ancien Professeur au Lycée d'Angoulême... 500
ROTHSCHILD (**Baron Edmond de**)..... 300
CANET..... 300
MARTIN (**Ch.**), de Chartres (Legs)..... 1 000
ANONYME (pour la publication du tome I des *Données numériques*)..... 11 000
ANONYME (pour la publication du tome II des *Données numériques*)..... 9 600
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome I des *Données numériques*)..... 850,25
GAUTHIER-VILLARS (pour la publication du tome II des *Données numériques*)..... 734,25

MEMBRES A VIE (1).

MM. * D'Abbadie, Membre de l'Institut.
Abraham (Henri), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 46, rue Richer.
* Abria, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.
* D'Almeida, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
* Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique.
Amagat, Correspondant de l'Institut, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, avenue d'Orléans.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Arnoux (René), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

---

rieure ou égale à 500 francs resteront inscrits, avec le chiffre de la donation, immédiatement après les Membres honoraires, et avant les Membres à vie, sous le titre de Donateurs. Les membres à vie pourront acquérir ce titre en ajoutant une somme de 300 francs à leur souscription perpétuelle. (Décision du Conseil du 1er décembre 1891.)

(1) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État, et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (Statuts, art. 3, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Arsonval (Dr d'), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

Aubert, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

Babinski, Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Baume Pluvinel (comte de la), 17, rue de Constantine.

Bandsept (Albert), Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique).

Bardy (Charles), Directeur honoraire du service scientifique des Contributions indirectes, 30, rue Miromesnil.

Baron, ancien Directeur à l'Administration des Postes et des Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.

Bassée (Jules-Charles), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

Becquerel (Henri), Membre de l'Institut, 6, rue Dumont-d'Urville.

Benoît (René), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

Bertin, Directeur du matériel au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

Bienaymé, Inspecteur général du Génie maritime en retraite, à Toulon.

Bischoffsheim (Raphaël-Louis), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

Bjerknes (Wilhelm), chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.

Blondel, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais.

Blondin, Professeur au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

Blondlot, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux.

Bordet (Lucien), ancien Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, Administrateur de la Cie des forges de Châtillon et de Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

Bourgeois (Léon), Dr ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Branly, Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

* Bréguet (Antoine), Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Brewer, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

MM. * Brion, Professeur au Lycée Saint-Louis.
* Brisse (Ch.), Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, Répétiteur à l'École Polytechnique.
Broca (Dr André), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.
Brunhes (Bernard), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.
* Buchin, Ingénieur électricien.
* Cabanellas, Ingénieur électricien.
Cadot, Professeur au Lycée de Douai.
Cailho, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.
Canet, Directeur de l'Artillerie des forges et chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.
Carpentier, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.
Carimey, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Carvallo, Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 30, rue Gay-Lussac.
Cauro (Joseph), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 6, rue Lunain.
Chabaud (Victor), Constructeur d'instruments de Physique, 58, rue Monsieur-le-Prince.
Chancel (Félix), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.
Chautard, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, au château de la Chapelle, par Croissanville (Calvados).
Chauveau, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.
Chaves (Antonio Ribeiro), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).
* Chervet, Professeur au Lycée Saint-Louis.
Claverie, Censeur du Lycée Condorcet.
Clément (Louis), 18, rue Louis-le-Grand.
Colardeau (Emmanuel), Professeur au Collège Rollin.
Compagnie des Chemins de fer du Midi, 54, boulevard Haussmann.
Compagnie des Salins du Midi, 84, rue de la Victoire.
Contal, Préparateur de Physique au Collège Rollin.
Coppet (de), villa Irène, rue Magnan, à Nice.
Cornu, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.
Culmann (Paul), Docteur ès sciences, 145, boulevard Montparnasse.
Curie (Pierre), Docteur ès sciences, Chef des travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 42, rue Lhomond.
Dambier, Professeur au Collège Stanislas.
Defforges (le Lieutenant-Colonel G.), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 41, boulevard de la Tour-Maubourg.

MM. Delebecque, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.
Diot, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.
Dollfus (Eugène), Chimiste, fabricant d'indiennes, 1, rue Schlumberger, à Mulhouse (Alsace).
Drouin (Félix), 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret.
* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.
Duclaux, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.
Duclos, Ancien Directeur d'École normale à Cérisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).
Dufet, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.
Dumoulin-Froment, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.
Durand, Préparateur à la Faculté des Sciences, 99, boulevard Arago.
Dybowski, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.
Engel, Professeur à l'Ecole centrale, 35, avenue de Breteuil.
Faivre-Dupaigre, Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.
Favé, Ingénieur hydrographe, 1, rue de Lille.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.
Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 52, rue Saint-Georges.
Foussereau, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, place de Jussieu.
Foveau de Courmelles (Dr), 26, rue de Châteaudun.
* Friedel, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.
Galimard, Industriel, à Flavigny-sur-l'Ozerain (Côte-d'Or).
Gall (Henry), Directeur de la Société d'électro-chimie, 42, rue de Clichy.
Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.
Gascard (A.), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen.
* Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur.
Gay (Jules), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.
Gayon, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux.
Gernez, Maître de conférences à l'École normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.
Godard (Léon), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.
Godefroy (l'abbé), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.
Godron (H.), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen.
Goloubitzky, Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

MM. * Gotendorf (Silvanus).

Gouré de Villemontée, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

Gramont (Arnaud de), Docteur ès sciences, 81, rue de Lille, et au Vignal par Pau.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C° limited, à Londres (Angleterre).

Grosseteste (William), Ingénieur, 67, avenue Malakoff.

Grouvelle, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.

Guébhard (Dr Ad.), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

* Hugo (comte Léopold).

Husson (Léon), Contrôleur du câble télégraphique, à Haïphong (Tonkin).

Infreville (Georges d'), Électricien de la *Western Union Telegraph*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty Street, New-York (États-Unis).

* Jamin, Membre de l'Institut.

Janet (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four.

Javal, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 5, boulevard La-Tour-Maubourg.

Javaux (Émile), Administrateur-Directeur de la Société *Gramme*, 33, rue Clavel.

* Jennesson, Ancien Principal.

Jénot, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

Jeunet, Professeur honoraire, 15, avenue de la Défense-de-Paris, Puteaux (Seine).

Jobin (A.), Ancien Élève de l'École polytechnique, successeur de M. Laurent, 21, rue de l'Odéon.

* Joly, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de Paris.

Joubert, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

Kerangué (Yves de), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

Knoll, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

Kœchlin (Horace), Chimiste, 16, rue Masséna, à Lyon.

Krouchkoll, Docteur ès sciences et Docteur en médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue Édouard-Detaille.

Lacour, Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

Laurent (Léon), Ancien constructeur d'instruments d'optique, 21, rue de l'Odéon.

Lapresté, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

Laviéville, Inspecteur de l'Académie de Paris, 14, rue Soufflot.

Le Bel, Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

Leblanc, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

MM. Lechat, Professeur honoraire du Lycée Louis-le-Grand.

Le Chatelier (André), Ingénieur des Constructions navales, 11, avenue Vauban, à Toulon.

Le Chatelier (Henry), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

Le Cordier (Paul), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 3, place Lecoq, à Clermont-Ferrand.

Leduc, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

Lefebvre (Pierre), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai.

Lemoine (E.), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

* Lemonnier, Ancien Élève de l'École Polytechnique.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Lequeux, Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

Leroy, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

* Létang (Paul), Ingénieur électricien.

Limb, Docteur ès sciences, Ingénieur, Conseil de la Maison Gindre frères et Cie de Lyon, 43, rue de Lyon, et à Cuire (Rhône).

Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

Lyon (Gustave), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

Macé de Lépinay, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

Mach (Dr E.), Professeur de Physique à l'Université de Vienne (Autriche).

Macquet (Auguste), Ingénieur au corps des Mines, Professeur à l'École des Mines du Hainaut, à Mons (Belgique).

* Mallard, Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Professeur de Minéralogie à l'École des Mines.

Maneuvrier, Directeur-Adjoint du Laboratoire des Recherches (Physique) à la Sorbonne.

Marie, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

* Martin (Ch.), de Chartres.

Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.

Massin, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard.

Masson (G.), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Maurain, professeur au Lycée de Lorient.

* Maurat, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis.

Menier (Henri), 8, rue de Vigny.

Meslin, Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Montpellier.

Mestre, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MM. * Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.
Michel (Auguste), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.
Molteni, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.
* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.
Montefiore (Lévi), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, à Liège.
Moser (Dr James), Privat-Docent à l'Université, VIII/1, Laudon-gasse, 25, à Vienne (Autriche).
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court. Temple E. C., Londres.
Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 101, rue de Boétie.
Nogué (Émile), Attaché à la maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Ogier (Jules), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Oumoff (Nicolas), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).
Palmade, Professeur au Lycée de Montpellier.
Palmade, Capitaine du Génie, adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.
Pavlidès (Démosthènes), Docteur en Médecine.
Pellat, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.
Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).
* Pérot, Dessinateur et Graveur.
Pérot (Alfred), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 119, boulevard Longchamps, à Marseille.
Perreau, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.
Picou (R.-V.), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.
Piltschikoff (Nicolas), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Poincaré (A.), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.
Poincaré (Lucien), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 105 *bis*, boulevard Raspail.
Pollard (Jules), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.
Popp (Victor), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques.
Potier, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, chef du contrôle de la Société normande d'électricité, 7, rue Henri-Barbot, à Rouen.
Pupin (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.
Puyfontaine (comte de), 34, avenue Friedland.
* Raffard (N.-J.), Ingénieur.

MM. Raymond, Ingén. principal des messageries maritimes à la Ciotat.
* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Renault (Albert), Licencié ès sciences physiques, 30, rue du Faubourg-Saint-Jacques.
Ribière (Charles), Ingénieur des Ponts et Chaussées (Service des phares), 13, rue de Siam.
* Rigout (A.), Docteur en Médecine.
Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.
Rodde (Ferd.), 61, rue Rochechouart.
Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).
Rodocanachi (Emmanuel), 54, rue de Lisbonne.
Roger, Chef d'institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.
Romilly (Félix de), 25, avenue Montaigne.
Romilly (Paul de), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.
Rothschild (baron Edmond de), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.
Rozier (F.), Docteur en Médecine, 19, rue du Petit-Pont.
Sainte-Claire Deville (Émile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.
* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.
* Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences.
Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).
Sebert (le Général), Membre de l'Institut, Administrateur des forges et chantiers de la Méditerranée, 14, rue Brémontier.
Seligmann-Lui, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart.
Sentis, professeur au Lycée, 17, boulevard de Roanne, à Grenoble.
Serpollet, Ingénieur, 27, rue des Cloys.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
Strauss, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.
Street (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.
Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg (Russie).
Termier, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 71, rue Claude-Bernard.
* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.
* Thollon, Physicien à l'Observatoire de Nice.
Thomas, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.
Thouvenel, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.
Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.
Troost, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.
Tuleu, Ingénieur, 58, rue Hauteville.
Vagniez (Édouard), à Amiens.
* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).
Vaschy, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École polytechnique, 68, avenue Bosquet.
Vautier (Théodore), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

MM. * Verrier (J.-F.-G.).

Villiers (Antoine), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Violle, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

* Warren de la Rue, Correspondant de l'Institut.

Weiss (Dr Georges), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

Weiss (Pierre), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

Werlein (Ivan), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

Weyher, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de machines, 36, rue Ampère.

Wunschendorff, Ingénieur-Administrateur des Postes et des Télégraphes, 92, rue de Rennes.

Wyrouboff, Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

Bordé (Paul), Ingénieur opticien, 29, boulevard Haussmann.

Chairy, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh.

Gérard (Anatole), Ingénieur électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

Ginsberg (Alexandre), Collaborateur scientifique de la maison Krauss et Cie, 8, rue d'Albouy.

Hamy (Maurice), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux.

Jacobs (Fernand), Président de la Société Belge d'Astronomie, 21, rue des Chevaliers, à Bruxelles (Belgique).

Korda (Désiré), Ingénieur du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.

Korolkoff (Alexis), Lieutenant-Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

Létang (Dr Marc), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

Morize (Henri), Ingénieur civil, Docteur ès-sciences, Professeur de physique à l'École Polytechnique, rua Princeza Impérial, n° 20, Antigo, à Rio-de-Janeiro (Brésil).

Raveau (C.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue des Écoles.

Sagnac (G.), Préparateur à la Faculté des Sciences, 4, rue Paillet.

Timiriazeff, Professeur à l'Université et à l'Académie Agronomique de Moscou (Russie).

Tombeck, Licencié ès Sciences, 8, square du Croisic.

Perrin (Jean), chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 37, rue Rousselet.

Villard (P.), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

Vincent (G.), Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale Supérieure, 45, rue d'Ulm.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABRAHAM (**Henri**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 46, rue Richer.

ADAM (**Étienne**), Professeur au Lycée, 32, rue du Téméraire, à Nancy.

ALBERTOTTI (**Giuseppe**), Professeur d'oculistique à l'Université de Modène (Italie).

ALLAIRE (**G.**), Chef des travaux de physique à l'École de Médecine et de Pharmacie, 2, rue Haudaudine, à Nantes.

ALLARD, Docteur en Médecine, 46, rue de Châteaudun.

ALLUARD, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

AMAGAT, Correspondant de l'Institut, 19, avenue d'Orléans.

ANDRÉ (**Ch.**), Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (**Joseph**), 21, rue Hauteville.

APPERT (**Louis**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Ingénieur verrier, 50, rue de Londres.

ARBEZ (**Léon**), Industriel à Oyonnax (Ain).

ARGYROPOULOS, Recteur de l'Université, à Athènes (Grèce).

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (**René**), Ingénieur civil, 16, rue de Berlin.

ARNOYE (**Léon**), Professeur au Lycée, 40, rue Gasseras, à Montauban.

ARSONVAL (**Dr d'**), Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTH, Chargé d'un Cours de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences, 7, rue de Rigny, à Nancy.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 6, rue Berthollet.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 139, rue de Rome.

AUBRY, Professeur au Lycée de Saint-Étienne.

AUDIBERT, Professeur au Collège, allées Paul Riquet, à Béziers.

AUPAIX (**Charles**), Professeur au Lycée, 62, rue de la Flèche, à Niort.

BABINSKI (**Henri**), Ingénieur civil des Mines, 170 *bis*, boulevard Haussmann.

BABLON, 42, rue Boulard.

BAGARD, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, boulevard Thiers, 8, à Dijon.

BAILLAUD (**B.**), Doyen honoraire de la Faculté des Sciences, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BANDSEPT, Ingénieur, 28, avenue de la Couronne, à Bruxelles (Belgique

MM.

BANET-RIVET (**P.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 4, rue de Siam.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, 129, avenue de Villiers.

BARBILLION (**Louis**), Licencié ès sciences Physiques, Ingénieur électricien diplômé, 74, rue d'Assas.

BARDEL, Libraire, à Évreux.

BARDY (**Charles**), Directeur honoraire du Service Scientifique des Contributions indirectes, 30, rue de Miromesnil.

BARON, Directeur à l'Administration des Postes et Télégraphes, 18, avenue La Bourdonnais.

BARY (**Paul**), Ingénieur électricien, 5, rue Gay-Lussac.

BASSAC, Professeur au Lycée, 23, boulevard de Tessé, à Toulon.

BASSÉE (**Jules-Charles**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

BASSET, Professeur au Lycée de Bourges.

BASSOT (le Général), Membre de l'Institut, Directeur du Service géographique de l'armée, 16, rue Chauveau-Lagarde.

BASTIDE, Employé au Secrétariat de la Faculté des Sciences de Paris.

BATTELLI (**Angelo**), Professeur à l'Université de Pise (Italie).

BAUDOT (**Émile**), Ingénieur des télégraphes, 1, rue Littré.

BAUME PLUVINEL (Comte **Aymar de la**), 17, rue de Constantine.

BEAULARD (**Fernand**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 4, rue du Docteur-Bailly, à Grenoble.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal, à Grasse.

BECQUEREL (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 6, rue Dumont-d'Urville.

BÉDARD, Professeur agrégé de Physiologie à la Faculté de Médecine de Lille.

BÉDOREZ, Inspecteur d'Académie, Directeur de l'Enseignement primaire du département de la Seine, 9, rue Brémontier.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, Directeur du Laboratoire municipal, 50, rue du Tilleul, à Roubaix.

BEL (**Edgar**), Professeur au Lycée d'Oran (Algérie).

BELL (**Alexander Graham**), 1331, Connecticut Ave., Washington D. C. (U. S. A.).

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BÉNARD, Agrégé, Préparateur au Collège de France.

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIST (**L.**), Professeur au Lycée Henri IV, 62, rue Monge.

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERG (**Max.**), Ingénieur de la Maison Krauss, 21, rue Albouy.

BERGET (**Alphonse**), Docteur ès sciences, attaché au Laboratoire des recherches physiques à la Sorbonne, 16, rue de Vaugirard.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (D^r^), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine, 6 *bis*, rue du Temple, à Bordeaux.

MM.

BERGONIER, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 5, rue Sainte-Cécile, à Bordeaux.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée, 42, rue Sainte-Claire, à Cahors.

BERNARD, Professeur au Collège de Bédarieux.

BERNARD (**Louis**), Professeur au Lycée, 21, rue Saint-Éloi, à Orléans.

BERSON, Professeur au Lycée Condorcet, 15, rue Guy-de-la-Brosse.

BERTHELOT, Sénateur, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 3, rue Mazarine.

BERTHELOT (**Daniel**), Docteur ès sciences, Assistant au Muséum, 3, rue Mazarine.

BERTIN, Directeur des Constructions navales au Ministère de la Marine, 8, rue Garancière.

BERTIN-SANS (Dr **Henri**), Professeur, agrégé de la Faculté de Médecine, 3, rue de la Merci, à Montpellier.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BESOMBES (**Noël**), Directeur des Postes et des Télégraphes à Valence (Drôme).

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, Sous-Chef de l'Exploitation à la Compagnie générale transatlantique, 6, rue Aubert.

BÉTOUX (**Victor**), Professeur au Lycée, 41, boulevard Carnot, à Toulouse.

BIBLIOTHÈQUE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DES MINES.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE DE LILLE.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 6, rue des Jardiniers, à Nancy.

BIENAYMÉ, Inspecteur général du Génie maritime, en retraite, 14, rue du Revel, à Toulon.

BIGET (**Albert**), Percepteur des Contributions directes, à Bologne (Haute-Marne).

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Membre de l'Institut, 3, rue Taitbout.

BJERKNES (**Vilhelm**), Chargé de Cours à l'Université de Stockholm (Suède).

BLAREZ (le Dr), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 3, rue Gouvion, à Bordeaux.

BLOCH (**Salvador**), Professeur au Lycée de Versailles, 40, rue de Tocqueville.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue La Rochefoucauld.

BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, 41, avenue de la Bourdonnais.

BLONDIN, Prof. au Collège Rollin, 171, rue du Faubourg-Poissonnière.

BLONDLOT (**R.**), Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BLUMBACH (**Theodor**), Membre de la Chambre centrale des poids et mesures de l'Empire de Russie, Perspective de Zabalkousky à Saint-Pétersbourg (Russie).

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

BOCAT (l'abbé), Licencié ès sciences Physiques, Professeur au Collège Saint-François-de-Sales, rue Vannerie, à Dijon.

BOISARD (**Louis**), Professeur au Lycée Carnot, 129, avenue de Wagram.

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 4, rue Houdan, à Sceaux.

BONAPARTE (Prince **Roland**), 10, avenue d'Iéna.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONETTI (**L.**), Constructeur électricien, 69, avenue d'Orléans.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 11, avenue du Roule, à Neuilly-sur-Seine.

BORDÉ (**Paul**), Ingénieur, Opticien, 29, boulevard Haussmann.

BORDENAVE (**L.**), Ingénieur à l'usine Ménier, à Noisiel-sur-Marne.

BORDET (**Lucien**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Inspecteur des Finances, Administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon et Commentry, 181, boulevard Saint-Germain.

BORDIER (Dr **Henri**), Professeur, Agrégé de la Faculté de Médecine, 39, rue Thomassin, à Lyon.

BORGMANN, Professeur à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOSE (**Jagadis, Chunder**), Presidency College, à Calcutta (Indes anglaises).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 62, rue de Vaugirard.

BOUASSE (**Henri**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, rue du Japon, à Toulouse.

BOUCHEROT (**Paul**), Ingénieur de la Société des établissements Weyher et Richemond, 44, rue Laugier.

BOUDRET (**Eugène**), Professeur au Lycée, rue Roussannes, à Agen.

BOUDRÉAUX (**Édouard**), Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 4, rue Clovis.

BOUDRÉAUX (**Léon**), Propriétaire et Directeur des Ateliers de Galvanoplastie, 8, rue Hautefeuille.

BOUIC, Professeur de Mathématiques au Lycée, 27, rue Saint-Léonard, à Angers.

BOULANGER (**Julien**), Commandant du Génie, Chef du Dépôt central de Télégraphie militaire, 25, boulevard du Montparnasse.

BOULGAKOFF, Privat docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOULOUCH (**R.**), Professeur au Lycée de Bordeaux.

BOURGAREL, Professeur au Lycée de Grenoble.

BOURGEOIS (**Léon**), Docteur ès sciences, Répétiteur à l'École Polytechnique, 1, boulevard Henri IV.

BOURGEOIS (**Robert**), Chef d'Escadron d'Artillerie, Chef de la section de Géodésie au Service Géographique de l'armée, 140, rue de Grenelle.

BOURNIQUE, professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 141, avenue Victor-Hugo.

BOUSQUET (**E.**), Directeur de l'École normale de Nice.

BOUTAN, Inspecteur général honoraire de l'Instruction publique, à Miremonde, par Terraube (Gers).

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOZZOLA (l'abbé **J.-B.**), Professeur au Séminaire de Padoue (Italie).

BRACHET (**Henri**), Ingénieur électricien, 3, quai Fulchiron, à Lyon.

MM.

BRANLY (**E.**), Professeur à l'École libre des Hautes-Études scientifiques et littéraires, 21, avenue de Tourville.

BREWER (**William-J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 76, boulevard Saint-Germain.

BRIEU (**Georges**), Prof. à l'École normale, 11, rue Aubarède, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École normale supérieure, 31, boulevard de Port-Royal.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie parisienne du gaz, 58, rue de Châteaudun.

BROCA (Dr **André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur agrégé de la Faculté de Médecine, 7, cité Vaneau.

BROUQUIER (l'abbé), Directeur du petit Séminaire de Toulouse.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la Compagnie Direct Spanish Telegraph, à Marseille.

BRUNEL, Lieutenant d'Artillerie à la Commission Centrale de réception des Poudres, à Versailles.

BRUNHES (**Bernard**), professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Berbisey, à Dijon.

BUCQUET (**Maurice**), Président du *Photo-Club de Paris*, 12, rue Paul-Baudry.

BUDDE (Dr **E.**), Professeur, Alt Moabit, 89, à Berlin. N.W. (Allemagne).

BUJUET (**Abel**), Professeur au Lycée, à l'École des Sciences et à l'École de Médecine, 43, rue de la République, à Rouen.

CADENAT, Professeur au Collège de Saint-Claude.

CADIAT, Ingénieur, rue Sainte-Cécile, à La Valette, près Toulon.

CADOT (**Albert**), Professeur au Lycée de Douai.

CAILHO, Ingénieur des Télégraphes, 111, rue Mozart.

CAILLETET (**L.-P.**), Membre de l'Institut, 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTE (**Louis**), Professeur au Prytanée militaire, 7, boulevard d'Alger, à la Flèche.

CAMICHEL (**Ch.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lille.

CANCE, Ingénieur électricien, 5, rue Saint-Vincent-de-Paul.

CANET (**Gustave-Adolphe**), Directeur de l'Artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée, 3, rue Vignon.

CARIMEY, Professeur au Lycée Saint-Louis.

CARPENTIER, Ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de Physique, 34, rue du Luxembourg.

CARRÉ (**F.**), Professeur au Lycée Malherbe, 9, rue des Croisiers, à Caen.

CARVALLO (**E.**), Examinateur d'admission à l'École Polytechnique, 1, rue de Courty.

CASALONGA, Ingénieur civil, 11, rue des Déchargeurs.

CASPARI (**E.**), Ingénieur hydrographe de la Marine, Répétiteur à l'École Polytechnique, 30, rue Gay-Lussac.

CASSAN (Dr **Antony**), à Quimper.

MM.

CASTEX (**Edmond**), Professeur à l'École de Médecine de Rennes, 16, rue Bertrand, à Rennes.

CAURO (**Joseph**), Docteur ès sciences, Ancien Élève de l'École polytechnique, 6, rue Lunain.

CAVAILLÉ-COLL, 21, rue du Vieux-Colombier.

CAVAILLÈS, Préparateur de Physique au Lycée de Nice.

CAVIALE (**V.**), Professeur de Physique à l'École normale, 49, avenue de Saint-Cloud, à Versailles.

CAZES (**Laurent**), Répétiteur général au Lycée Saint-Louis, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHABAUD (**Victor**), Constructeur d'instruments de précision, 58, rue Monsieur-le-Prince.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 3, place Victor-Hugo.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRIÉ (**Camille**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire d'enseignement pratique de Chimie appliquée, 13, rue Bara.

CHAIR, Professeur au Lycée, 62, faubourg Montbéliard, à Belfort.

CHAIRY, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 60, rue du Ranelagh.

CHANCEL (**Félix**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 34, rue Saint-Jacques, à Marseille.

CHAPPUIS (**James**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 5, rue des Beaux-Arts.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHARDONNET (**le comte de**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon, et 43, rue Cambon, à Paris.

CHARLE, Professeur au Collège de la Rochefoucauld (Charente).

CHARPENTIER (**Dr A.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 31, rue Claudot, à Nancy.

CHARPY (**G.**), Docteur ès sciences, 27, avenue de la Gare, Montluçon.

CHASSAGNY (**Michel**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 1, rue Duban.

CHASSY, Professeur à la Faculté libre des Sciences, à Lyon.

CHATEAU (**C.**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Constructeur d'instruments de précision, 16, Rond-point de la Porte-Maillot, à Neuilly-sur-Seine.

CHATELAIN (**Michel**), Professeur de Physique à l'École supérieure des Mines, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAUMAT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 26, avenue du Maine.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, Chef de traction au Chemin de fer, 3, place Jussieu.

CHAUTARD, Doyen honoraire de la Faculté libre des Sciences de Lille, à la Villa Saint-Marc, par Croissanville (Calvados).

CHAUVEAU, Ancien Élève de l'École normale supérieure, Météorologiste adjoint au Bureau central, 51, rue de Lille.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHEVALLIER (**Henry**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 61, rue Clément, à Bordeaux.

MM.

CHIBOUT, Ingénieur, Constructeur d'appareils de chauffage, 36, rue Notre-Dame-des-Champs.

CHISTONI (**Ciro**), Professeur à l'Université de Modène (Italie).

CHRISTEN (Dr **Th.**), 18, rue Pestalozzi, à Zurich V (Suisse).

CHUDEAU (**René**), Professeur au Lycée de Bayonne.

CHWOLSON (**Oreste**), Professeur à l'Université Impériale, Wassili Ostrow, 8 ligne, Maison no 19, Log. no 5, à Saint-Pétersbourg (Russie).

CLAVEAU, Professeur au Lycée, 13, rue Amiral-Linois, à Brest.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Condorcet, 65, rue Caumartin.

CLÉMENT (**Louis**), 18, rue Louis-le-Grand.

COGNET (**Alfred**), Professeur au Collège de Bergerac.

COLARDEAU (**P.**), Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Prof. au Collège Rollin, 29, avenue Trudaine.

COLLIN (**Th.**), Professeur au Lycée d'Alger.

COLLANGETTES (R. Père), Professeur à l'Université Saint-Joseph, à Beyrouth (Syrie).

COLLIGNON (**Benoît**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Professeur de Mathématiques, 74, rue Jean-Jacques-Rousseau, à Dijon.

COLLOT (**Armand**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Constructeur d'Instruments de précision, 8, boulevard Edgar-Quinet.

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie royale de Belgique, ancien Directeur des finances du Grand-Duché de Luxembourg, à Luxembourg.

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès sciences, Professeur à l'Athénée, avenue Reinsheim, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLOMAN DE SZILY, Universitatstrasse, 8, à Zurich (Suisse).

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARY à New-York (États-Unis), chez M. Stechert, 76, rue de Rennes, Paris.

COMBES (**Charles**), Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, 15, rue Bara.

COMBET (**Candide**), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

COMBETTE, Inspecteur général de l'Université, 63, rue Claude-Bernard.

COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI, 54, boulevard Haussmann.

COMPAGNIE DES SALINS DU MIDI, 84, rue de la Victoire.

COPPET (**de**), villa Irène, rue Magnan, à Nice.

CORNU, Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique, 9, rue de Grenelle.

CORVISY (**A.**), Professeur au Lycée, 75, rue Carnot, à Saint-Omer.

COSTA (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine, Calle Vittoria, 1094, Buenos-Ayres (République Argentine).

COTTON (**A.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

COUDERT (**A.**), Professeur au Lycée, 10, quai de Caligny, à Cherbourg.

COUETTE (**Maurice**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté libre des Sciences, 26, rue de la Fontaine, à Angers.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (l'abbé), Professeur à l'École industrielle, 20, rue du Casino, à Tourcoing.

MM.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles (Belgique).

CRÉMIEU (**Victor**), Licencié ès sciences Physiques, 1, rue Legoff.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège communal, avenue du Clos, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROVA, Correspondant de l'Institut, Directeur de l'Institut de Physique de l'Université de Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur-électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève (Suisse).

CULMANN (**Paul**), Docteur ès sciences, 145, boulevard Montparnasse.

CURIE (**Pierre**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 42, rue Lhomond.

DAGUENET, Professeur au Lycée Hoche, 4, rue Sainte-Victoire, à Versailles.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

DARZENS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 24, rue de la Cerisaie.

DECHEVRENS (le R. Père **Marc** S. J.), Ancien Directeur de l'Observatoire de Zi-Ka-Wei (Chine), à Saint-Hélier, Observatoire Saint-Louis (île Jersey).

DÉCOMBE (**Louis**), Docteur ès sciences à l'Observatoire d'astronomie physique de Meudon (Seine-et-Oise).

DEDET (**François**), Professeur honoraire de Physique, à Albi.

DEFFORGES (le Colonel **G.**), détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, Bureau restant de Galata à Constantinople (Turquie).

DELAUNAY (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Institut d'Agriculture, à Novo-Alexandria, gouvernement Lublin (Russie).

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEBECQUE, Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Thonon.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 136, cours Lieutaud, à Marseille.

DELONCLE (**François**), Ministre plénipotentiaire, 7, boulevard Delessert.

DELPEUCH, Ingénieur de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 74, rue de Dunkerque.

DELVALEZ, Professeur au Lycée de Poitiers.

DEMERLIAC (**R.**), Professeur au Lycée, 30, rue Bretagne, à Caen.

DE METZ, Professeur à l'Université Saint-Wladimir, 3, rue du Théâtre, à Kiew (Russie).

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 23, avenue Marigny, à Vincennes.

DESCHAMPS (Dr **Eugène**), 22, rue de la Monnaie, à Rennes.

DESLANDRES (**H.**), Astronome à l'Observatoire d'Astronomie physique de Meudon, 43, rue de Rennes.

DESPRATS (**André**), Principal honoraire, route de Villeneuve, à Lons-le-Saunier.

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 10, avenue Frochot.

DETAILLE (**Charles**), Professeur au Lycée, 81, rue du Gouédic, à Saint-Brieuc.

MM.

DEVAUD, Professeur au Lycée, 35, boulevard Merenthié, à Marseille.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Brest.

DEVAUX (**Henri**), Docteur ès sciences, à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Examinateur d'admission à l'École spéciale militaire, 5, rue de la Santé.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et Graveur, 3, rue Hautefeuille.

DIERMAN (**William**), Ingénieur électricien, Directeur de la Société anonyme des applications de l'Électricité, 1, rue Saint-Léonard, à Liège (Belgique).

DIGEON (**J.**), Ingénieur-Constructeur, 15, 17 et 19, rue du Terrage.

DINI (**Urbain**), 95, route de Saint-Leu, à Deuil, par Enghien (Seine-et-Oise).

DININ (**Alfred**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 69, rue Pouchet.

DIOMAR, Professeur au Lycée d'Auch.

DIOT, Professeur au Lycée Condorcet, 72, rue Nollet.

DOIGNON (**L.**), Ingénieur-Constructeur, successeur de Dumoulin-Froment, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DOMMER, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue Poisson.

DONGIER (**Raphaël**), Docteur ès sciences, Sous-Directeur du Laboratoire de Physique (Enseignement) de la Faculté des Sciences, 82, rue Claude-Bernard.

DORGEOT (**Gabriel**), Capitaine d'Artillerie, en garnison à Saint-Servan.

DOUCEUR, 42, rue Jouffroy.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin, 76, rue des Martyrs.

DROUIN (**Félix**), Ingénieur, 100, rue de Courcelles, à Levallois-Perret.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cozette, à Amiens.

DUBOIS (**René**), Professeur à l'École Turgot, 13, rue de Cluny.

DU BOIS (Dr **E.-H.**), Schissbauerdaumm, 21, à Berlin NW. (Allemagne).

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Membre de l'Institut, Directeur de l'Institut Pasteur, 35 *ter*, rue de Fleurus.

DUCLOS, ancien Directeur d'École normale, à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 7-9, rue d'Abbeville.

DUCOTTÉ, Ingénieur électricien, 1, rue de la Paix, à Lyon.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur au Lycée Saint-Louis, 35, rue de l'Arbalète.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à l'Université La Casita, à Lausanne (Suisse).

DUHEM (**P.**), Professeur à la Faculté des Sciences, 18, rue de la Teste, à Bordeaux.

DUJARDIN (**P.-J.-R.**), Héliographe, 28, rue Vavin.

DUMOULIN-FROMENT, Ancien Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

MM.

DUPERRAY, Professeur au Lycée, 20, rue Contrescarpe, à Nantes.

DUPONT (**Charles**), Électricien, à Saint-Mihiel (Meuse).

DURAND (**Ernest**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 99, boulevard Arago.

DUSSAUD, Ancien Député, Professeur à l'École de Mécanique de la Ville de Genève, 16, rue Dancet, à Genève (Suisse), et 160, boulevard Pereire, Paris.

DUSSY, Professeur au Lycée, 46, rue Saint-Lazare, à Dijon.

DVORAK (Dr **V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKY (**A.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 16, rue Rottembourg.

EBEL, Ingénieur en Chef du Secteur électrique des Champs-Élysées, 2, avenue des Ternes.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EGOROFF (**Serge**), Observateur à l'Observatoire de Paulauwsk, près Saint-Pétersbourg (Russie).

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur, 4, rue Rabelais.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ENGEL, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 35, avenue de Breteuil.

ÉTIENNE (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées et de la Compagnie P.-L.-M., 50, boulevard Saint-Michel.

FABRY (**Charles**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 2, place de la Corderie, à Marseille.

FAILLOT, Professeur au Lycée de Nancy.

FAIVRE-DUPAIGRE (**J.**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 95, boulevard Saint-Michel.

FAVÉ, Ingénieur hydrographe de la Marine, 1, rue de Lille.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 23, avenue de l'Observatoire.

FERRAS, Professeur au Lycée, 2, place de l'École-de-Médecine, à Toulouse.

FIGUIER (Dr **Alban**), Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 17, place des Quinconces, à Bordeaux.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur-électricien, 52, rue Saint-Georges.

FONTAINE, Chimiste, 203, boulevard Saint-Germain.

FOUCHÉ, Directeur de la Société de l'acétylène dissous, 28, rue Saint-Lazare.

FOURNIER (le Dr **Albain**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée Janson-de-Sailly, 106, rue de la Pompe.

FOUSSEREAU, Secrétaire de la Faculté des Sciences, 5, Place de Jussieu.

FOVEAU DE COURMELLES (le Dr), 26, rue de Châteaudun.

FRICKER (le Dr), 10, rue Duperré.

MM.

FROC (le R. Père), à l'Observatoire de Zi-Ka-Weï, près Chang-Haï (Chine).

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 19, rue de Sèvres.

FRUH (**Eugène**), 11, rue de Cujas.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GAILLARD, Professeur au Lycée de Roanne.

GAIN (**Edmond**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

GALANTE, Constructeur d'instruments de Chirurgie, 2, rue de l'École-de-Médecine.

GALIMARD, Industriel, à l'abbaye de Flavigny (Côte-d'Or).

GALITZINE (Prince **Boris**), Membre de l'Académie impériale des Sciences, à Saint-Pétersbourg (Russie).

GALL (**Henri**), Directeur de la Société d'Électrochimie, 42, rue de Clichy.

GALLOTTI, Professeur au Lycée, 20, rue Saint-Cyran, à Châteauroux (Indre).

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Alençon.

GARBE, Doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers.

GARDET (**Alfred**), Censeur du Lycée de Charleville.

GARÉ (l'abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 6, rue Édouard-Detaille.

GARNUCHOT, Professeur honoraire du Collège, 37, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GASCARD (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine, Pharmacien des hôpitaux, 33, boulevard Saint-Hilaire, à Rouen.

GAUMONT, Directeur du Comptoir général de Photographie, 17, rue Saint-Roch.

GAUTHIER-VILLARS (**Albert**), Imprimeur-Éditeur, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAUTIER (**P.**), Constructeur d'instruments de précision, Membre du Bureau des Longitudes, 56, boulevard Arago.

GAY (**Henri**), Professeur en congé, 1, avenue des Lilas, aux Prés-Saint-Gervais.

GAY (**Jules**), Examinateur à l'École Militaire de Saint-Cyr, 16, rue Cassette.

GAYON, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 7, rue Dufour-Dubergier, à Bordeaux.

GEITLER (Dr **J. Chevalier de**), Privat-docent à l'Université de Prague (Autriche).

GELLÉ (**Joseph**), Professeur au Collège Saint-Grégoire, 26, rue de la Scellerie à Tours.

GENDRON (**Rodolphe**), Préparateur de Physique à l'Institut catholique, 6, rue Gassendi.

GENEST (**Eugène**), Professeur à la Faculté libre des Sciences, 38, rue de Brissac, à Angers.

MM.

GEORGUIEWSKY (**Nicolas**), rue Schpalernaja, maison 30, Log. 3, à Saint-Pétersbourg (Russie),

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur-électricien, 16, rue des Grandes-Carrières.

GÉRARD (**Éric**), Professeur à l'Université, Directeur de l'Institut électrotechnique de Montefiore, 43, rue Saint-Gilles, à Liège (Belgique).

GERNEZ, Maître de Conférences à l'École normale supérieure, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'abbé), Professeur à l'Institution Notre-Dame-des-Victoires, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILBAUT, Professeur au Lycée, 31, rue Pargaminières, à Toulouse.

GILLES (**A.**), Inspecteur général de l'Instruction publique, 21, rue Vauquelin.

GINSBERG (**Alexandre**), Opticien, Collaborateur scientifique de la maison Krauss et Cie, 21, rue Albouy.

GIRARD (**Charles**), Directeur du Laboratoire municipal, 2, rue de la Cité.

GIRARDET, Professeur honoraire du Lycée Saint-Louis, 90, rue Claude-Bernard.

GIRARDIN (l'abbé **Maurice**), Professeur de Physique à l'Institut Saint-François-de-Sales, à Gien (Loiret).

GIRAULT, Directeur de l'École municipale Lavoisier, 67, rue Claude-Bernard.

GIROUX, Ingénieur-opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GIVERT, Professeur au Lycée, 3 *bis*, rue de Nemours, à Rennes.

GODART, (**Léon**), Docteur ès sciences, 223, rue Saint-Jacques.

GODART Professeur au Collège, 4, rue Notre-Dame-de-Bon-Secours, à Compiègne.

GODEFROY (l'abbé **L.**), Ancien Professeur de Chimie à l'Institut catholique.

GODEFROY, Professeur à l'École Normale d'Instituteurs de la Seine, 10, rue Molitor.

GODRON (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 52, quai du Mont-Riboudet, à Rouen.

GODY (**G.**), Architecte du département des Travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ (**L.**), Constructeur d'instruments à l'usage des Sciences, 282, rue Saint-Jacques.

GOLDHAMMER (**Démétrius**), Professeur de Physique à l'Université de Kasan (Russie).

GOLOUBITZKI (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GORSSE, Professeur au Collège Rollin, 23, rue Truffaut.

GOSSARD (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 68, rue Eugène-Ténot, à Bordeaux.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur au Lycée Buffon, 31, rue de Poissy.

GOUY (**G.**), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine, à Vierzon.

GRAMONT (**Arnaud de**), Docteur ès sciences physiques, 81, rue de Lille.

MM.

GRAU (**Félix**), Professeur au Lycée de Toulon.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur-électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres (Angleterre).

GREFFE (**E.**), Professeur au Lycée de Montpellier.

GRÉHANT (Dr), Professeur de Physiologie générale au Muséum, 90, cours de Vincennes.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique au Collège d'Autun.

GRIPON, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 12, rue du Mont-Thabor, à Rennes.

GRIVAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir, Lyon.

GRIVOLAS (**Claude**), Ingénieur civil, Administrateur délégué de la Cie française d'Appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), Kerkstraat, 14, Oudenbosch (Hollande).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 67, avenue Malakoff.

GROUVELLE, Ingénieur, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 18, avenue de l'Observatoire.

GRUEY-VIARD, Constructeur d'instruments de Physique, rue de la Liberté, à Dijon.

GUEBHARD (Dr **Adrien**), Agrégé des Facultés de Médecine, à Saint-Vallier-de-Thiey (Alpes-Maritimes).

GUERBY (**A.**), Professeur en retraite, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉROULT (**Georges**), Trésorier-Payeur général, 5 *bis*, rue de Fougères, à Rennes.

GUERRE, Constructeur électricien, 53, rue de Villiers, à Neuilly-sur-Seine.

GUGGENHEIMER (**Siegfried**), Docteur ès sciences, Kaiserstrasse, 23, à Nuremberg (Bavière).

GUILLAUME (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEMIN (l'abbé), Professeur de Sciences mathématiques et physiques à l'Externat de la rue de Madrid, 1, avenue Marigny.

GUILLOZ (Dr **Th.**), Agrégé, Chef des travaux du Laboratoire de Physique médicale à la Faculté de Médecine, 38, place de la Carrière, à Nancy.

GUINARD (**A.**), Armurier, 8, avenue de l'Opéra.

GUINCHANT (**J.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 177, rue Saint-Jean, à Caen.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue de l'Hospice, à Nancy.

GUYE (**Philippe-A.**), Docteur ès sciences, Professeur de Chimie à l'Université de Genève (Suisse).

GUYE (**Ch.-Ed.**), Docteur ès sciences, Professeur agrégé à l'École Polytechnique de Zurich, 83, route de Chêne, à Genève (Suisse).

GUYENOT, Docteur en Médecine, à Aix-les-Bains.

HAGENBACH-BISCHOFF, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HAGENBACH (**Auguste**), Privat-docent à l'Université, Breite strasse, à Bonn-sur-Rhein, près Cologne (Allemagne).

HALE (**George**), Directeur de l'Observatoire, Yerkes observatory, University of Chicago Williams Bay, Wisconsin (États-Unis).

MM.

HALLER (**A.**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences de Nancy.

HAMY (**Maurice**), Astronome adjoint à l'Observatoire, 16, rue de Bagneux.

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, 6, rue Pichon, à Nancy.

HARKER (Dr **John Allen**), Docteur ès sciences, Membre du Owens-College, à l'Observatoire de Kiew, Richemond, Londre S. W. (Angleterre).

HARTL (Colonel), Attaché à l'Institut géographique militaire de Vienne (Autriche).

HAUDIÉ (**Edgard**), Professeur à l'École navale, 89, rue de Paris, à Brest.

HEEN (**De**), Membre de l'Académie Royale, Directeur de l'Institut de Physique de Liège (Belgique).

HEMARDINQUER (**Ch.**), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 7, rue de la Cerisaie.

HÉMOT (**Alphonse**), Constructeur d'instruments de précision, 1, rue Vauquelin.

HEMPTINNE (**Alexandre de**), 56, rue de la Vallée, à Gand (Belgique).

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physique Biologique du Collège de France, 11, avenue Matignon.

HENRY (**Édouard**), Professeur au Lycée, 47, rue de la Comédie, à Lorient.

HENRY (**Aimé**), Professeur au Lycée, 23, rue Marlot, à Reims.

HEPITÈS (**Stefan**), Directeur de l'Institut météorologique à Bucarest (Roumanie).

HERMANN (**A.**), Libraire-Éditeur, 8, rue de la Sorbonne.

HERSCHOUN (**Alexandre**), Étudiant au Laboratoire de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HESEHUS (**N.**), Professeur à l'Institut technologique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

HIGISMOND (Frère), Professeur de Physique à l'École des Francs-Bourgeois, 212, rue Saint-Antoine.

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 22, rue Vicq-d'Azir.

HIRSCH, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 1, rue Castiglione.

HODIN, Inspecteur d'Académie, à Mende.

HOMEN (**Théodor**), Professeur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

HOSPITALIER, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 12, rue de Chantilly.

HOSTEIN, Proviseur du Lycée, 37, rue Isabey, à Nancy.

HOULLEVIGUE, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Lyon.

HUDELOT, Répétiteur à l'École centrale, 10, rue Saint-Louis-en-l'Ile.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HURMUZESCU (**Dragomir**), Docteur ès sciences, Professeur à la Faculté des Sciences de Jassy (Roumanie).

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

MM.

HUTIN (**Maurice**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 10, avenue Trudaine.

IMBAULT (**G.**), Professeur au Lycée de Tunis (Tunisie).

IMBERT (**Armand**), Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**Georges d'**), Ex-Électricien de la *Western Union Telegraph C°*, Expert de la *National Bell Telephone C°*, 110, Liberty street, à New-York (États-Unis).

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

IZARN (**Joseph**), Professeur au Lycée Pascal, 2, rue d'Amboise, à Clermont-Ferrand.

JACOBS (**Fernand**), Président de la Société belge d'Astronomie, 21, rue des Chevalliers, à Bruxelles (Belgique).

JAMBART, Professeur au Lycée de Coutances.

JANET (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, Directeur du Laboratoire central et de l'École supérieure d'Électricité, 6, rue du Four.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARRE (**L.**), Ingénieur-Électricien, 2, rue des Pyramides.

JAUBERT (Dr **Georges**), Docteur ès sciences, 155, boulevard Malesherbes.

JAUMANN (Dr **G.**), Professeur de Chimie et de Physique de l'Université de Prague (Autriche).

JAVAL, Membre de l'Académie de Médecine, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Faculté des Sciences, 5, boulevard La Tour-Maubourg.

JAVAUX (**Émile**), Administrateur-Directeur de la Société Gramme, 33, rue Clavel.

JÉNOT, Professeur honoraire au Collège Rollin, 17, rue Caulaincourt.

JEUNET, Ancien Professeur, 15, avenue de la Défense de Paris, à Puteaux (Seine).

JOANNIS (l'abbé **de**), Licencié ès sciences Physiques et Mathématiques, 15, rue Monsieur.

JOBIN (**A.**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, successeur de M. Léon Laurent, 21, rue de l'Odéon.

JOSEPH (**Paul**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Montsouris.

JOUBERT, Inspecteur général de l'Instruction publique, 67, rue Violet.

JOUBIN, Professeur à la Faculté des Sciences de Besançon.

JOUKOWSKI (**Nicolas**), Professeur de Mécanique à l'Université et à l'École des Hautes-Études de Moscou (Russie).

JOYEUX (**Eugène**), 10, avenue de Bellevue, à Sèvres.

JUNGFLEISCH (**E.**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 74, rue du Cherche-Midi.

MM.

KAPOUSTINE (**Théodore**), Professeur de Physique à l'Université de Tomsk (Sibérie).

KELVIN (**Lord**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glascow (Écosse).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine en retraite, à Kernouël, près Paimpol (Côtes-du-Nord).

KNOLL, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand, 123, rue Saint-Jacques.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, 19, avenue du Mont-Riboudet, à Rouen.

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'acoustique, 27, quai d'Anjou.

KORDA (**Désiré**), Ingénieur chef du Service électrique de la Compagnie de Fives-Lille, 64, rue Caumartin.

KOROLKOFF (**Alexis**), Colonel d'Artillerie russe, Professeur de Physique à l'Académie d'Artillerie de Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Professeur à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KOWALSKI (**Joseph de**), Professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

KROUCHKOLL, Docteur ès sciences et Docteur en Médecine, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 77, rue de Prony.

LABATUT, Professeur suppléant à l'École de Médecine et de Pharmacie de Grenoble.

LACOUR (**Alfred**), Ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère.

LAFARGE (**Raymond**), 84, rue Lecourbe.

LAFAY, Capitaine, adjoint à l'atelier de précision, représentant la Section technique de l'artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin.

LAFFARGUE (**Joseph**), Licencié ès sciences Physiques, Ingénieur-électricien, 70, boulevard Magenta.

LAFLAMME (Mgr), Membre de la Société géologique de France, Recteur de l'Université Laval, à Québec (Canada).

LAGRANGE (**L.**), Professeur de Physique à l'École Militaire, 60, rue des Champs-Élysées, à Bruxelles (Belgique).

LALA (**Ulysse**), Docteur ès sciences, Chef des Travaux de Physique à la Faculté des Sciences, 40, Allée Saint-Étienne, à Toulouse.

LALANDE (**F. de**), Ingénieur civil des Mines, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 183, boulevard Saint-Germain.

LAMIRAND, Professeur au Lycée de Toulouse.

LAMOTTE, Agrégé, Préparateur au Laboratoire d'Enseignement de la Faculté des Sciences, 19 *bis*, boulevard de Port-Royal.

LANCELOT, Constructeur d'instruments d'acoustique, 70, avenue du Maine.

LANDRIN, Ancien Élève de l'École Polytechnique, 76, rue d'Amsterdam.

LAPRESTÉ, Professeur au Lycée Buffon, 7, rue Charlet.

LAROCHE (**Félix**), Inspecteur Général des Ponts et Chaussées en retraite, 110, avenue Wagram.

LAROCQUE, Inspecteur d'Académie, à Nantes.

LAROUSSE (**Auguste**), Chargé de Cours au Lycée, 28, avenue Bertrand-de-Born, à Périgueux.

MM.

LATCHINOW, Professeur de l'Institut du Corps forestier, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LATOUR, Professeur honoraire, 4 *bis*, rue Daillière, à Angers.

LAURENT (**Léon**), Ancien Constructeur d'instruments d'Optique, 21, rue de l'Odéon.

LAURIOL (**P.**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 83, boulevard Saint-Michel.

LAVERDE (Dr **Jésus Oloya**), à Bucaramanga (États-Unis de Colombie).

LAVIÉVILLE (**Augustin**), Inspecteur d'Académie, 14, rue Soufflot.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph Co, à Marseille.

LEBEDEW (**Jean**), Adjoint à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE BEL (**J.-A.**), Ancien Président de la Société chimique, 25, rue Franklin.

LEBLANC (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 1, avenue de Bouflers, villa Montmorency, Paris-Auteuil.

LE BON (Dr **G.**), 29, rue Vignon.

LECAT, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 7, rue Gustave-Courbet.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des Constructions navales, 11, avenue Vauban, à Toulon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, Professeur au Collège de France et à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, 4, rue Bara.

LE CHATELIER (**Charles**), 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LECHER (Dr **Ernst**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LE CORDIER (**Paul**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

LEDUC, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 1, rue Michelet.

LEDUC (Dr **Stéphane**), Professeur à l'École de Médecine, 5, quai de la Fosse, à Nantes.

LEFEBVRE (**Eugène**), Professeur honoraire, 2, rue des Réservoirs, à Versailles et à Menotey (Jura).

LEFEBVRE (**Pierre**), Professeur au Lycée, 67, boulevard Faidherbe, à Douai.

LEFÈVRE (**Julien**), Professeur au Lycée, 2, place Saint-Pierre, à Nantes.

LEFÈVRE, Préparateur de Physique au Lycée d'Amiens.

LEJEUNE (**L.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, à Thury-Harcourt (Calvados).

LELORIEUX (**V.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 21, rue du Rocher.

LEMESLE, Professeur et Secrétaire de l'École de Médecine et de Pharmacie d'Angers.

LEMOINE (**Émile**), 32, avenue du Maine.

LEMOINE (**Georges**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École Polytechnique, 76, rue Notre-Dame-des-Champs.

LEMOINE (**Jules**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 72, rue Claude-Bernard.

LEMSTROM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

MM.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LEQUEUX (**P.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 64, rue Gay-Lussac.

LERAY (le Père **Ad.**), Eudiste, 75, rue Denfert-Rochereau.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée Michelet, 245, boulevard Raspail.

LEROY, Médecin-Major de 1re classe au 160e régiment d'infanterie, à Toul.

LESAGE (**Auguste**), Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESOBRE, Professeur au Collège, 7, rue Crevoulin, à Melun.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (Dr **Marc**), 272, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

LEUILLIEUX (Dr), Médecin de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest à Conlie (Sarthe).

LÉVY (**Armand**), Professeur de Physique, rue de Cazault, 120, à Alençon.

LHUILLIER, Professeur au Prytanée militaire de La Flèche, 5, rue de la Nation.

LIMB (**Claudius**), Docteur ès sciences, Ingénieur-Conseil de la Maison Gindre Frères et Cie de Lyon, 58, rue Coste, à Cuire (Rhône).

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue de l'Éperon.

LOISELEUR, Professeur au Collège, 92, rue de Lyon, à Libourne.

LORRAIN (**James-Grieves**), Consulting Engineer Norfolk House, Norfolk Street, London, W. C. (Angleterre).

LOUGUININE (**W.**), Dr honoraire, Professeur de Thermochimie à l'Université de Moscou (Russie).

LUBOSLAWSKY (**Gennady**), Préparateur à l'Institut forestier de Saint-Pétersbourg (Russie).

LUCAS (Le Père **J.-D.**), Professeur à la Faculté des Sciences, Collège Notre-Dame-de-la-Paix à Namur (Belgique).

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUGGIN (Dr **Hans**), Karl Vilhermstr, 28, à Karlsruhe (Allemagne).

LUGOL (**Paul**), Professeur au Lycée, 4, cité Chabrol, à Clermont-Ferrand.

LUMIÈRE (**Auguste**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUMIÈRE (**Louis**), Ingénieur-Chimiste, cours Gambetta, à Monplaisir (Lyon).

LUSSANA (**Silvio**), Docteur ès sciences Physiques, à l'Institut Physique de l'Université de Sienne (Italie).

LYON (**Gustave**), Ancien Élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MM.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université, Vienne, I, Singerstrasse, 7 (Autriche).

MACK, Licencié ès sciences physiques, 16, rue Monge.

MACQUET (**Auguste**), Ingénieur au corps des Mines, Directeur de l'École provinciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, 22, boulevard Dolez, à Mons (Belgique).

MADAMET, Directeur des Forges et Chantiers de la Méditerranée, à Marseille.

MAIGRET (Dr), 86, avenue de la République, à Montrouge (Seine).

MAISONOBE, Capitaine d'Artillerie, 1, boulevard de la Liberté, à Bourges.

MALDINEY (**J.**), Président de la Société de Photographie du Doubs, Chef des travaux de Physique à la Faculté des Sciences de Besançon.

MALLAT (R. Père **Jean**), Professeur à Saint-Joseph College, à Trichinopoly (Indes anglaises).

MALLY (Dr **Francis**), 24, rue de Saint-Pétersbourg.

MALOSSE, Professeur à l'École de Médecine d'Alger.

MALTÉZOS, Docteur ès sciences, à Athènes (Grèce).

MAMY (**J.**), Professeur au Lycée, 15, rue Thibaudeau, à Poitiers.

MANEUVRIER, Directeur Adjoint du Laboratoire des Recherches (physiques) à la Sorbonne.

MANY, Professeur de Physique à l'École des Ponts et Chaussées, à Bucarest (Roumanie).

MARAGE (Dr), Docteur ès sciences, 15, place de la Madeleine.

MARCHIS, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 106, rue Mazarin, à Bordeaux.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIE, Préparateur de Physique au Lycée Charlemagne.

MARSAL (**A.**), Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

MARTIN (**Georges**), Ingénieur de la Station d'Éclairage électrique, 67, rue Rousseau, à Bar-le-Duc.

MARTINET, Prof. au Lycée Janson-de-Sailly, 5, rue de l'Amiral-Courbet.

MARTINET, Professeur au Prytanée militaire, 5, Grande-Rue, à la Flèche.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSE (**Maurice**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Mines, place du Vœu, à Nice.

MASSIN, Ingénieur des Télégraphes, 61, rue de Vaugirard.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MASSON (**Louis**), 33, rue de Vincennes, à Montreuil-sous-Bois (Seine).

MATHIAS (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences, 22, rue Sainte-Anne, à Toulouse.

MATHIEU (**Louis**), Professeur au Lycée, 64 *bis*, rue de la Polle, à Cherbourg.

MATHIEU, Professeur au Lycée d'Évreux.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, à Lorient.

MM.

MAURAIN (**Charles**), Professeur au Lycée, 2, rue de l'Assemblée-Nationale, à Lorient.

MELANDER, Préparateur à l'Université d'Helsingfors (Finlande).

MÉNIER (**Henri**), 8, rue de Vigny.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 21, rue Descartes.

MERLE (**Antoine**), Propriétaire de la maison Brunot-Court, boulevard Victor-Hugo, à Grasse.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée, 78, faubourg Vincent, à Châlons-sur-Marne.

MESLANS (**Maurice**), 23, boulevard Saint-Germain.

MESLIN, Professeur à la Faculté des Sciences, villa Marie, ancien chemin de Castelnau, Montpellier.

MESTRE, Ingénieur à la Cie des Chemins de fer de l'Est, 168, rue Lafayette.

MÉTRAL (**Pierre**), Agrégé des Sciences physiques, Professeur à l'École Colbert, 239 *bis*, rue Lafayette.

MEYER, Directeur de la Compagnie continentale Edison, 38, rue Saint-Georges.

MEYLAN, Ingénieur de la Maison Gaiffe, 40, rue Saint-André-des-Arts.

MICHEL (**Auguste**), Constructeur d'instruments de Physique, 92, rue de Bondy.

MICHELSON (**Albert**), Professeur à l'Université de Chicago (États-Unis).

MICULESCU (**Constantin**), Professeur à l'Université de Bucarest, 11, strada Baterülor (Roumanie).

MILLARD (**John-A.**), Docteur en Médecine, au château Sunnyside, à Dinard-Saint-Énogat, et 11, rue de la Monnaie, à Rennes.

MISLAWSKY (Dr), Professeur agrégé de Physiologie à l'Université de Kasan (Russie).

MOËSSARD, Colonel du Génie, 58, rue de Vaugirard.

MOINE, Préparateur de Physique au Lycée de Clermont-Ferrand.

MOLTENI (**A.**), Ingénieur-constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MONNIER (**D.**), Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 1, rue Appert.

MONNORY (**Henri**), Professeur au Lycée Hoche, 5, rue Montebello, à Versailles.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTEFIORE (**Levi**), Sénateur, Ingénieur, Fondateur de l'Institut électrotechnique, 35, rue de la Science, à Bruxelles (Belgique).

MONTEIL (**Silvain**), Juge de paix à Grand-Bourg (Creuse).

MONTHIERS (**Maurice**), 50, rue Ampère.

MOREAU (**Georges**), Professeur à la Faculté des Sciences, 49, avenue de la gare, à Rennes.

MORIN (**Pierre**), Professeur au Lycée, 25, rue Barathon, à Montluçon.

MORIZE (**Henri**), Ingénieur civil, Docteur ès sciences, Astronome à l'Observatoire, Professeur de Physique à l'École Polytechnique, Rua Princeza Imperial, n° 20. Antigo à Rio de Janiero (Brésil).

MORIZOT, Chargé de Cours au Lycée de Chaumont.

MM.

MORS, Ingénieur, constructeur d'appareils électriques, 84, rue du Théâtre à Grenelle (Paris).

MOSER (Dr **James**), Privat-docent à l'Université, 25, Laudon-Gasse, Vienne VIII/4 (Autriche).

MOUCHOT, Professeur en retraite, 56, rue Dantzig (5, passage Dantzig).

MOULIN (**Honoré**), Capitaine au 26e d'Artillerie, au Mans.

MOUREAUX (**Th.**), Météorologiste, Chef du Service magnétique à l'Observatoire du Parc Saint-Maur (Seine).

MOUSSELIUS (**Maximilien**), Employé à l'Administration centrale des Télégraphes, rue Torgowaïa n° 13, Log. 4, à Saint-Pétersbourg (Russie).

MUIRHEAD (**Alexandre**), F. C. S., 5, Cowley Street Westminster, S. W. Londres.

MULLER (**Paul**), Professeur à l'Institut chimique de la Faculté des Sciences de Nancy.

MYCHKINE, Professeur de Physique à l'Institut agronomique de Nowoya Alexandria (Russie).

NACHET (**A.**), Constructeur d'instruments d'Optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'Optique, 7, rue des Gravilliers.

NAMBA MASSASHI, Professeur à l'Université de Kioto (Japon).

NEGREANU (**D.**), Professeur à l'Université, 21, Strada Popa-Rusu, à Bucarest (Roumanie).

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 59, rue de Ponthieu.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NODON (**Albert**), Ingénieur-conseil, 6 *bis*, rue des Écoles.

NOÉ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, à Bruxelles (Belgique), Hôtel de France, à Saint-Pétersbourg (Russie).

NOUGARET (**Élie**), Proviseur du Lycée de Cherbourg.

OFFRET (**Albert**), Professeur de Minéralogie à l'Université, 53, Villa Sans-Souci, Chemin des Pins, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Membre du Comité consultatif d'Hygiène publique, Chef du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de police, 49, rue de Bellechasse.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, Directeur de la *Revue générale des Sciences pures et appliquées*, 34, rue de Provence.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

OUMOFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Moscou (Russie).

MM.

OZENNE, Aide au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences, 28, rue Masséna, à Lille.

PALAZ (**Adrien**), Docteur ès sciences, Professeur d'Électricité industrielle, à l'Université de Lausanne (Suisse).

PALMADE, Professeur au Lycée de Montpellier.

PALMADE (**F.**), Capitaine du Génie, Adjoint au Commandant de l'École du Génie, à Versailles.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, Directeur de l'École Descartes, 46, rue de la Tour.

PARAYRE (l'abbé **D.**), Directeur de l'École Saint-Sauveur, à Saint-Germain-en-Laye.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PATENT OFFICE LIBRARY, à Londres, 25, Southampton Buildings, W. C. (Angleterre).

PAVILLARD, Professeur au Lycée de Montpellier.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Docteur en Médecine.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Égypte).

PAYRARD (**Henri**), Professeur au Lycée de Vendôme.

PÉLABON (**H.**), Chargé de Conférences de Chimie à la Faculté des Sciences de Lille.

PELLAT (**H.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PELISSIER (**Georges**), 4, rue Dailly, à Saint-Cloud (Seine-et-Oise).

PERNET (**Dr J.**), Professeur à l'École Polytechnique, 84, Hofstrasse, à Zurich (Suisse).

PERNIN (**René**), Directeur de la Station centrale d'Électricité, 12, rue du Beffroy, à Troyes.

PEROT (**Alfred**), Professeur d'Électricité industrielle à la Faculté des Sciences, 22, chemin des Chartreux, à Marseille.

PERREAU, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Nancy.

PERRIER, Lieutenant au 13e d'Artillerie, 46, avenue du Polygone, à Vincennes (Seine).

PERRIN (**Jean**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 37, rue Rousselet.

PETIT (**Paul**), Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

PETIT (**A.**), Pharmacien de 1re classe, Licencié ès sciences physiques, 8, rue Favart.

PETIT (**Paul**), Professeur au Lycée de Foix.

PETITEAU (**Marcel**), Professeur au Lycée de Nantes.

MM.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut technologique, Directeur du Département des chemins de fer au Ministère des voies et communications, à Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Ingénieur-Opticien, 31, quai des Grands-Augustins.

PEYRUSSON (**Édouard**), Professeur de Chimie et de Toxicologie à l'École de Médecine et de Pharmacie, 17, chemin du Petit-Tour, à Limoges.

PFAUNDLER (**Léopold**), Professeur à l'Université de Gratz (Autriche).

PHASMANN (**Augustin**), Maire de Saint-Mihiel (Meuse).

PHILBERT, Ancien Receveur des Télégraphes, 58, rue d'Antrain, à Rennes.

PHILIPPE (**A.**), Professeur au Lycée, 5, rue de l'Abattoir, à Bourges.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, villa Denise, 36, rue Houdan, à Sceaux (Seine).

PICOU (**R.-V.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 41, rue Saint-Ferdinand.

PILLEUX, Électricien, 79, rue Claude-Bernard.

PILTSCHIKOFF (**Nicolas**), Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble.

PISCA (**Michel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 152, rue Marcadet.

POINCARÉ (**Antoni**), Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 14, rue du Regard.

POINCARÉ (**Henri**), Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 63, rue Claude-Bernard.

POINCARÉ (**Lucien**), Chargé de Cours à la Faculté des Sciences, 105 *bis*, boulevard Raspail.

POINTELIN, Professeur de Physique au Lycée d'Amiens.

POIRÉ, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, Professeur au Lycée Condorcet, 84, boulevard des Batignolles.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur de la Marine, 28, rue Bassano.

POMEY (**J.-B.**), Inspecteur-Ingénieur des Télégraphes, 33, rue de Coulmiers.

PONSELLE (**Georges**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 114, avenue de Wagram.

PONSOT, Docteur ès sciences, Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 28, rue Vauquelin.

POPOFF (**Alexandre**), Professeur à l'École des Torpilleurs marins, Classe des officiers de Marine, à Cronstadt (Russie).

POPP (**Victor**), Ancien Administrateur-Directeur de la Compagnie des Horloges pneumatiques, 46, rue de Douai.

POPPER (**Josef**), Ingénieur-Constructeur de machines, Seidengasse, 31, à Vienne (Autriche).

POTIER, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur, Chef du Contrôle à la Société normande d'Électricité, 7, rue Henri-Barbet, à Rouen.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉOBRAJENSKI (**Pierre**), au Musée Polytechnique, à Moscou (Russie).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres (Angleterre).

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg (Russie).

MM.

PRETORIANO (**Marin**), Professeur à l'École militaire de Craïova (Roumanie).

PUPIN (Dr), Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 38, avenue Friedland.

POZZI-ESCOT (**E**), à Mont-de-Neyrac, commune de Bergerac (Dordogne).

QUEFFELLEC (**Auguste**), Licencié ès sciences, Professeur au Collège Notre-Dame-des-Dunes, à Dunkerque.

QUERVAIN (**Alfred de**), assistant à l'Observatoire météorologique de Trappes (Seine-et-Oise).

QUESNEVILLE (Dr), Professeur agrégé, à l'École supérieure de Pharmacie, 1, rue Cabanis.

RADIGUET, Opticien-Constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RALLET, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

RAMEAU (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAU (**Louis**), Administrateur délégué de la Compagnie Continentale Edison, 7, rue Montchanin.

RAVEAU (**C.**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 5, rue des Écoles.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND (**Eugène**), Ingénieur principal de la Compagnie des Messageries maritimes, à la Ciotat.

RECHNIEWSKI, Ingénieur-Électricien, 5 *bis*, rue d'Odessa.

RECOURA (**Albert**), Doyen de la Faculté des Sciences de Lyon, 12, rue Pelletier-de-Chambure, à Dijon.

RÉGNARD (Dr **P.**), Membre de l'Académie de Médecine, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 224, boulevard Saint-Germain.

RENARD (**Charles**), Colonel du Génie, Directeur de l'Établissement central d'Aérostation militaire, 7, avenue de Trivaux, à Chalais-Meudon.

RENAULT (**Albert**), Licencié ès sciences physiques, 30, rue du Faubourg-Saint-Jacques.

REVOY, Professeur au Lycée de Pontivy.

REY PAILHADE (**J. de**), Ingénieur civil des Mines, 18, rue Saint-Jacques, à Toulouse.

RIBAN (**Joseph**), Directeur-adjoint du Laboratoire d'Enseignement chimique et des Hautes-Études, Professeur à l'École des Beaux-Arts, 85, rue d'Assas.

RIBIÈRE (**Charles**), Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées (service des Phares), 13, rue de Siam.

RICARD (Dr **E.**), Chirurgien de l'Hôpital, 6, impasse Voltaire, à Agen.

RICHARD (**Jules**), Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Ch.**), Professeur à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOLLOT, Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences de Lyon.

MM.

RILLIET, Professeur à l'Université, 25, rue Bellot, à Genève (Suisse).

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 123, boulevard Montparnasse.

ROBERT (**A.-C.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 14, rue de Hambourg.

ROCHEFORT (**Octave**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 4, rue Capron.

RODDE (**Ford.**), 61, rue Rochechouart.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 54, rue de Lisbonne.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER (**J.**), Chef d'Institution honoraire, 7, rue Faustin-Hélie.

ROGOWSKY (**Eugène**), Professeur au Collège Vassiliewski Ostrow, 14e ligne, n° 23, log. 12, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ROLLAND (**Étienne**), Professeur au Lycée, 4, rue de Perpignan, à Pau.

ROMILLY (**Félix de**), 25, avenue Montaigne.

ROMILLY (**Paul de**), Ingénieur en Chef des Mines, 7, rue Balzac.

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'Usine Poirier, 61, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROTHSCHILD (baron **Edmond de**), 41, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

ROUMAILLAC (Dr), à Captieux (Gironde).

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles (Belgique).

ROUSSELET, Proviseur du Lycée de Roanne.

ROUSSELOT (l'abbé), Professeur à l'Institut catholique, 74, rue de Vaugirard.

ROUX (**Gaston**), Ingénieur électricien, 51, rue de Dunkerque.

ROWLAND, Professeur à l'Université Johns Hopkins, à Baltimore (États-Unis).

ROZIER (**F.**), Docteur en Médecine, 10, rue du Petit-Pont.

SACERDOTE (**Paul**), Ancien Élève de l'École normale supérieure, Professeur agrégé au Collège Sainte-Barbe, 97, boulevard Saint-Michel.

SADOWSKY (**Alexandre**), Professeur à l'Université impériale de Physique, à Juriew (Russie).

SAGNAC, Préparateur à la Faculté des Sciences, 4, rue Paillet.

SAID (**Dj.**), Ingénieur, 106, boulevard Arago.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 12, rue Alphonse-de-Neuville.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ancien Directeur des Manufactures de l'État, Administrateur délégué de la Société anonyme des anciennes salines domaniales de l'Est, 95, rue de Courcelles.

SALADIN (**Édouard**), Ingénieur civil des Mines, chez MM. Schneider et Cie, au Creusot (Saône-et-Loire).

SALLES (**Adolphe**), 1, rue Rabelais.

SALMON, Professeur au Lycée, 15, rue du Mûrier-d'Espagne, à Nîmes.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Rataud.

SARASIN (**E.**), Docteur ès sciences, Grand Saconnex à Genève (Suisse).

MM.

SARRAN, Professeur au Lycée de Bordeaux.

SARRAU, Membre de l'Institut, Directeur des Poudres et Salpêtres, Professeur de Mécanique à l'École polytechnique, 9 *bis*, avenue Daumesnil, à Saint-Mandé.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SCHILLER (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Université de Kieff (Russie).

SCHURR (**Joseph**), Professeur au Lycée, à Lancelotte-Désertines, près Montluçon.

SCHWEDOFF, Doyen de la Faculté des Sciences, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, Directeur de la Maison Bréguet, 15, rue Bizet.

SCOBELTZINE (**Wladimir**), Préparateur au Laboratoire de Physique de l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

SEBERT (le Général), Membre de l'Institut, 14, rue Brémontier.

SECRÉTAN (**G.**), Ingénieur-Opticien, 13, place du Pont-Neuf.

SÉGUIN, Ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SELIGMANN-LUI, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 78, rue Mozart.

SENTIS, Professeur au Lycée, 17, boulevard de Bonne, à Grenoble.

SERPOLLET, Ingénieur, 27, rue des Cloys.

SERRÉ-GUINO, Examinateur honoraire à l'École de Saint-Cyr, 114, rue du Bac.

SIEGLER, Ingénieur en Chef de la voie à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 96, rue de Maubeuge.

SIGALAS (Dr **C.**), Professeur de Physique, à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, 67, rue de la Teste, à Bordeaux.

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Correspondant de l'Institut, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 73, rue de Rennes.

SMOLUCHOWSKI DE SMOLAN (le Chevalier **M.**), Docteur ès sciences, IV Alleegasse, 31, à Vienne (Autriche).

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 22, rue des Palais, à Bruxelles (Belgique).

SORET, Professeur au Lycée, 11, rue Edmond-Morin, au Havre.

SORET, Professeur à l'Université de Genève (Suisse).

SORBIER (**J.**), Professeur de Physique à Saint-Girons (Ariège).

STACKELBERG (baron **Édouard de**), École Polytechnique, Laboratoire de physique, à Riga (Russie).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

STEPANOFF, Professeur de Physique, Place Ossoxine, Maison Britneff, log. t, n° 11, à Cronstadt (Russie).

STIASSNIE (**Maurice**), Opticien, 204, boulevard Raspail.

MM.

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge (Angleterre).

STRAVOLCA, Professeur à l'Université de Jassy (Roumanie).

STRAUSS, Chef du Génie, 16, boulevard de la Liberté, à Gap.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, boulevard Haussmann.

SULZER (**E.-C.**), Docteur en Médecine, 22, rue de Tocqueville.

SWYNGEDAUW (**R.**), Maître de Conférences à l'Institut de Physique, 48, rue Gauthier-de-Châtillon, à Lille.

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TAILLEFER (**André**), Ancien Élève de l'École Polytechnique, 5, rue Bonaparte.

TANGL (**Charles**), Docteur de l'Université de Budapest, Eszterhasy-Utera, 3 (Hongrie).

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société météorologique de France, Directeur de l'observatoire de Trappes, 82, avenue Marceau.

TEPLOFF (**N.**), Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, Maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

TERMIER, Ingénieur des Mines, Professeur à l'École nationale des Mines, 164, rue de Vaugirard.

TERRIER, Professeur au Lycée, 38, rue du Bel-Air, à Laval.

THÉNARD (le baron **Arnould**), chimiste agronome, 6, place Saint-Sulpice.

THIESEN (Dr **Max**), Physikalischen Technische Reichsanstalt, Charlottenburg-Berlin (Allemagne).

THIMONT, Professeur au Collège Stanislas, 144, boulevard du Montparnasse.

THOMAS, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Morland, Chislett Road, West Hampstead, Londres, N. W. (Angleterre).

THOUVENEL, Professeur au Lycée Charlemagne, 9, rue des Arènes.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSIER, Professeur au Lycée Voltaire, 1, rue Mirbel.

TISSOT, Lieutenant de vaisseau, Professeur de Physique à l'École navale, 2, rue d'Aiguillon, à Brest.

TOMBECK, Licencié ès sciences, 8, square du Croisic.

TONARELLI, Proviseur du Lycée du Puy.

TORCHEBEUF (**Ch.**), Constructeur d'instruments de Physique, 15, rue de l'Estrapade.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des Télégraphes, 8, rue de Tournon.

TRIPIER (Dr), 41, rue Cambon.

TROOST, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 84, rue Bonaparte.

TROUPOT (l'abbé **J.-E.**), Professeur à l'École Fénelon, à Bar-le-Duc.

MM.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.
TRUCHOT (Dr), Professeur à la Faculté de Médecine de Clermont-Ferrand.
TSCHERNING (Dr), Sous-Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie à la Faculté des Sciences, 15, rue de Mézières.
TULEU (**Charles**), Ingénieur, 58, rue Hauteville.
TURPAIN, Préparateur à la Faculté des Sciences, Cours Victor-Hugo, à Bordeaux.

UCHARD (**A.**), Chef d'escadron d'Artillerie, 46, boulevard de l'Arsenal, à Bourges.
ULLMANN (**Jacques**), Constructeur-Électricien, 16, boulevard Saint-Denis.
UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.
VAGNIEZ (**Benoni**), Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.
VAGNIEZ (**Édouard**), 14, rue Lemerchier, à Amiens.
VAN AUBEL (Dr **Edmond**), Professeur à l'Université de Gand, 12, rue de Comines, à Bruxelles (Belgique).
VAN DER MENSBRUGGHE (**Gustave-Léonard**), Membre de l'Académie Royale, Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).
VAN DER VLIET, Professeur de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).
VANDEVYVER-GRAU, Docteur ès sciences et Répétiteur à l'Université, 14, rue Saint-Amand, à Gand (Belgique).
VARACHE (**A.**), Professeur au Collège, 28, rue de la Rotonde, à Béziers.
VARENNE (**de**), Préparateur au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 7, rue de Médicis.
VASCHY, Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École polytechnique, 68, avenue Bosquet.
VAUGEOIS (**Jean-Georges**), Ingénieur-Électricien à l'usine G.-B. Blot, Fabricant d'accumulateurs, 7, boulevard Solférino, à Billancourt (Seine).
VASSEUR (**Alfred**), 87, boulevard d'Alsace-Lorraine, à Amiens.
VAUTIER (**Théodore**), Professeur adjoint de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.
VAYSSIÈRES (**Louis**), Chef des Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences, 6, rue d'Alger, à Marseille.
VEILLON (**Henri**), Docteur en Philosophie, Privat docent à l'Université de Bâle (Suisse).
VELTER (**Jules**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Deleuil, 42, rue des Fourneaux.
VERNIER (**Victor**), Professeur au Lycée de Toulouse.
VIEILLE, Ingénieur en Chef des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.
VIGNON (**Léo**), Professeur à l'Université, 6, rue Molière, à Lyon.
VIGOUROUX (Dr **Romain**), Chef du service autonome d'Électrothérapie (Salpêtrière), 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

MM.

VILLARD (**P.**), Docteur ès sciences, 45, rue d'Ulm.

VILLIERS (**Antoine**), Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VINCENS, Licencié ès sciences Mathématiques et Physiques, 158, boulevard Malesherbes.

VINCENT, Agrégé, Préparateur de Physique à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

VIOLET (**Léon**), 20, rue Delambre.

VIOLLE, Membre de l'Institut, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Maître de Conférences à l'École normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VIRIEU (Marquis **de**), 107, rue de la Pompe, ou au Château de Pupetières, par Chabons (Isère).

VLASTO (**Ernest**), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur honoraire du Lycée de Lyon, à Géanges, par Saint-Loup-de-la-Salle (Saône-et-Loire).

VOISENAT (**Jules**), Ingénieur des Télégraphes, 74, boulevard du Montparnasse.

WAHA (**de**), Professeur de Physique, à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALCKENAER, Ingénieur en chef des Mines, Professeur à l'École des Mines, 218, boulevard Saint-Germain.

WALLON (**E.**), Professeur au Lycée Janson-de-Sailly, 65, rue de Prony.

WEILLER (**Lazare**), Ingénieur manufacturier, 40, rue de Monceau.

WEINBERG (**Boris**), Magistrant de Physique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

WEISS (Dr **Georges**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, 20, avenue Jules-Janin.

WEISS (**Pierre**), Docteur ès sciences, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Rennes.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 8, rue d'Ulm.

WEST (**Émile**), Chef du Laboratoire des Chemins de fer de l'Ouest, 29, rue Jacques-Dulud, à Neuilly-sur-Seine.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique, à Erlangen (Allemagne).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, Professeur aux Facultés catholiques, 29, rue d'Antin, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, Professeur à la Faculté des Sciences, 1, rue des Feuillantines.

WOLFF (Dr), Professeur à l'École de Médecine, 52, rue Bernard-Palissy, à Tours.

WOULFF, Agrégé de l'Université de Varsovie (Russie).

MM.

WUILLEUMIER (**H.**), Docteur ès sciences, 98, rue d'Assas.

WUNSCHENDORFF, Ingénieur-Administrateur des Postes et des élégraphes, 92, rue de Rennes.

WYROUBOFF (**G.**), Docteur ès sciences, 20, rue Lacépède.

XAMBEU, Principal honoraire, 12, rue du Hâ, à Saintes.

YVON (**P.**), Pharmacien, 26, avenue de l'Observatoire.

ZAHM (le R. P. **J.-A.**), Professeur de Physique, à l'Université, à Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, 63, S. Martin, à Santiago (Chili).

ZETTER (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Compagnie française d'appareillage électrique, 16, rue Montgolfier.

ZILOFF, Professeur de Physique, à l'Université de Varsovie (Russie).

ZUPP, Professeur en retraite, 21, rue Saint-Gilles, à Brest.

Mai 1899.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

H. Becquerel. — Allocution prononcée dans la séance du 21 janvier 1898 5
A. Broca. — Sur l'isolement des appareils contre les trépidations du sol 8
V. Cremieu. — Sur un nouvel interrupteur pour les bobines d'induction 10
E. Bouty. — Nouvelle méthode pour la mesure des champs magnétiques 14
A. Broca. — Quelques propriétés des décharges électriques produites dans un champ magnétique. Assimilation au phénomène de Zeeman 23
P. Morin. — Relation entre l'aimantation des aiguilles aimantées et leur longueur. Essai d'une théorie de la distribution magnétique.. 31
E. Ducretet. — Sur la télégraphie hertzienne sans fil avec le radioconducteur de M. Branly et les dispositifs de MM. A. Popoff et E. Ducretet 51
C. Camichel. — Sur le contrôle des appareils électriques industriels.. 62
D. Hurmuzescu. — Sur la transformation des rayons X 66
P. Villard. — Sur les rayons cathodiques 69
D'Arsonval. — L'air liquide 93
R. Dongier. — Méthode de contrôle de l'orientation des faces polies d'un quartz épais normal à l'axe 104
R. Dongier. — Pouvoir rotatoire du quartz dans l'infra-rouge 109
G. Sagnac. — Transformation des rayons X par la matière 115
Ch.-Ed. Guillaume. — Construction mécanique des courbes terminales des spiraux 140
Daniel Berthelot. — Sur une nouvelle méthode purement physique pour la détermination des poids moléculaires des gaz et des poids atomiques de leurs éléments 143
V. Chabaud. — Sur la stéréoscopie radiographique 154
O. Rochefort. — Interrupteurs rotatifs. — Interrupteurs à mouvement rectiligne par guide liquide 164

PROCÈS-VERBAUX ET RÉSUMÉS DES COMMUNICATIONS.

Pages.

SÉANCE DU 7 JANVIER 1898 ..... 1*

V. Chabaud. — Nouvelle lampe à acétylène 1*
A. Broca. — Sur l'isolement des appareils contre les trépidations du sol 2*
Ch.-Ed. Guillaume. — Expériences de M. *John Burke* sur l'absorption de la lumière par les corps fluorescents 3*
H. Le Chatelier et Coupeau. — Sur une méthode pour la mesure des dilatations 3*
Rapport de la Commission des Comptes sur l'Exercice 1896-1897 .. 4*

SÉANCE DU 21 JANVIER 1898 ..... 7*

L. Cailletet. — Recherches sur la haute atmosphère 8*
A. Leduc. — Sur la composition de l'air à diverses altitudes 9*
P. Villard. — Sur quelques propriétés des rayons cathodiques ... 10*
A. Broca. — Remarques au sujet de la communication de M. *P. Villard* 10*

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1898 ..... 11*

A. Leduc. — Loi du mélange des gaz 11*
V. Crémieu. — Vibrations elliptiques dans les fluides 12*
V. Crémieu. — Sur un interrupteur de bobine d'induction 13*

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1898 ..... 13*

E. Bouty. — Nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques 14*
Daniel Berthelot. — Sur la mesure des hautes températures par la méthode interférentielle 15*

SÉANCE DU 4 MARS 1898 ..... 16*

Lamotte. — Ondes plus courtes que l'onde fondamentale dans les systèmes de Lecher et de Blondlot 16*
P. Villard. — Sur les rayons cathodiques 17*
Girardet. — Discours prononcé sur la tombe de M. *Maurat* 19*
R. Benoît. — Discours prononcé sur la tombe de M. *Maurat* 22*

SÉANCE DU 18 MARS 1898 ..... 23*

G. Sagnac. — Sur la transformation des rayons X par diffusion ... 23*
A. Broca. — Quelques propriétés des décharges électriques dans le champ magnétique 25*

Pages.

SEANCE DU 1er AVRIL 1898 ..... 26*

G. CHARPY. — Sur l'influence du temps sur les déformations permanentes des métaux 27*
LAMOTTE. — Théorie de M. *Bunte* pour expliquer le fonctionnement du manchon Auer 27*
A. BROCA. — Remarques au sujet de la communication de M. *Lamotte* 28*
H. LE CHATELIER. — Remarques au sujet de la communication de de M. *Lamotte* 28*

SÉANCE ANNUELLE : Réunion du vendredi 15 et du samedi 16 avril 1898. 28*

SÉANCE DU 6 MAI 1898 ..... 36*

O. ROCHEFORT. — Nouveau transformateur Wydts-Rochefort 36*
G. SAGNAC. — Sur un nouvel électro-aimant de laboratoire pour la production des champs très intenses, construit d'après les indications de M. *Pierre Weiss* 37*
G. SAGNAC. — Expérience de M. *A. Cotton* montrant le changement de période de la lumière du sodium produit par le champ magnétique 38*
WYROUBOFF. — Remarques sur la théorie de M. *Bunte* relative à l'incandescence des manchons Auer 38*

SÉANCE DU 20 MAI 1898 ..... 39*

R. BENOÎT. — Compte rendu de l'Exposition annuelle 39*
P. VILLARD. — Tube de Crookes régénérable. Écran magique 45*
G. SAGNAC. — Remarques au sujet de la communication de M. *P. Villard* 46*
JOBIN. — Spectroscope interférentiel de MM. *A. Pérot* et *Ch. Fabry*. 46*

SÉANCE DU 3 JUIN 1898 ..... 49*

LÉTANG. — La production de l'acétylène par le carbure de calcium glucosé Létang et Serpollet 49*
E. COLARDEAU. — Sur l'évaluation des longueurs et sur un essai de reconstitution du mètre, sans l'aide d'instruments de mesure... 50*
A. BROCA. — Remarques au sujet de la communication de M. *E. Colardeau* 52*
CH.-ED. GUILLAUME. — Sur un appareil destiné à la détermination mécanique des courbes terminales des spiraux 53*

SÉANCE DU 17 JUIN 1898 ..... 54*

LAGRANGE. — Sur un moyen d'étudier la chute de l'aimantation dans le fer doux 54*
CH.-ED. GUILLAUME. — Remarques au sujet de la communication de M. *Lagrange* 54*

Pages

DANIEL BERTHELOT. — Sur une méthode purement physique pour la détermination rigoureuse des poids atomiques..... 54
A. LEDUC. — Remarques au sujet de la communication de M. *Daniel Berthelot*..... 56*
A. GUÉBHARD. — De l'emploi de la plaque voilée comme enregistreur..... 57*

SÉANCE DU 1er JUILLET 1893..... 58*

A. BERGET. — Résultats des observations de M. *A. Stanoïevitch* sur les lignes de force et les surfaces équipotentielles dans les végétaux..... 58*
D'ARSONVAL. — L'air liquide..... 58*
RAVEAU. — Remarques au sujet de la communication de M. *d'Arsonval*..... 59*
LE CHATELIER et BOUDOUARD. — Sur la radiation des manchons à incandescence..... 59*

SÉANCE DU 15 JUILLET 1898..... 60*

CHAUVEAU. — Variation diurne de l'électricité atmosphérique..... 60
H. PELLAT. — Remarques au sujet de la communication de M. *Chauveau*..... 62*
J. LEMOINE. — Remarques au sujet de la communication de M. *Chauveau*..... 62*
BAILLE et FERY. — Nouvelle méthode pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur..... 62*

SÉANCE DU 4 NOVEMBRE 1898..... 64*

CH.-ED. GUILLAUME. — Sur les anomalies de l'eau..... 66*
P. VILLARD. — Interrupteur électro-magnétique à mercure..... 67*
V. CHABAUD. — Stéréoscopie radiographique..... 68*
P. BORDÉ. — Sur l'application des prismes de Porro dans les lunettes..... 68

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1898..... 68

R. DONGIER. — Méthode de contrôle de l'orientation des faces polies d'un quartz épais normal à l'axe..... 69*
O. ROCHEFORT. — Transformateur Wydts-Rochefort. — Interrupteurs..... 69*
H. LE CHATELIER. — Modèle de galvanomètre à cadre pour usines.. 70*
A. BROCA. — Courbes figuratives de l'intensité et de la force électromotrice d'un courant alternatif dans diverses conditions, obtenues par M. *Blondel*..... 71*

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1898..... 71*

A. BROCA. — Sur un trembleur très rapide de M. le Dr *Guilloz*..... 72

Pages.

FOVEAU DE COURMELLES. — De l'endodiascopie et d'un nouveau mode de fonctionnement des tubes de Crookes..... 73*
CH.-ED. GUILLAUME. — Sur les anomalies des aciers au nickel et les causes des déformations résiduelles..... 73*
H. LE CHATELIER. — Remarques au sujet de la communication de M. *Ch.-Ed. Guillaume*..... 75*
L. POINCARÉ. — Remarques au sujet de la communication de M. *Ch.-Ed. Guillaume*..... 76*

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1898..... 76*

BLONDEL. — Lettre au sujet de la communication de M. *Ducretet* sur la télégraphie sans fil..... 77*
BRANLY. — Note au sujet de la lettre de M. *Blondel*..... 78*
E. DUCRETET. — Réponse à la lettre de M. *Blondel*..... 79*
DUSSAUD. — Les reliefs mobiles pour les aveugles et le microphonographe pour les sourds..... 79*
E. DUCRETET. — Appareil portatif pour recevoir les signaux hertziens lancés dans l'air..... 80*
A. BROCA. — Recherches de M. *Arons* sur le cohéreur..... 81*
Décision du Conseil..... 82*

LISTE DES OUVRAGES REÇUS PENDANT L'ANNÉE 1898..... 83*

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ 95*

TABLE DES MATIÈRES..... 139*

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.